

전기 에너지 절감을 위한 조명제어 알고리즘

김경주*, 이신호*, 송승관*, 박진배*
연세대학교 전기전자공학과*

Algorithm of Light Control for Electrical Energy Saving

Kyoung Joo Kim*, Shin Ho Lee*, Seung Kwan Song*, Jin Bae Park*
Dept. of Electrical and Electronic Eng., Yonsei University*

Abstract - 전기 에너지는 우리 생활에서 가장 사용하기 쉽고 가까이 있는 에너지이다. 그러나 전기 에너지를 생산하는 화석연료가 점점 고갈되어 가고 기후변화협약에 의해 에너지 절감이 필수인 시대이다. 그래서 본 논문에서는 건축물에서 사용하는 전기 에너지 중에서 많은 부분을 차지하고 있는 조명용 전기 에너지를 줄이기 위한 방안으로서 천연 에너지인 태양광을 이용하여 전기 에너지 사용을 줄이면서도 실내 조도를 기준조도 이상으로 유지할 수 있는 조명제어 알고리즘을 제안한다. 제안된 조명제어 알고리즘은 외부에서 실내로 유입되는 태양광을 최대한 활용하여 조명등 사용을 줄이고, 이를 통해 전기 에너지를 줄일 수 있게 해준다.

1. 서 론

전 세계적인 에너지 절감 정책에 따라 각종 분야에서 에너지 절감에 대한 연구가 많은 관심을 받고 있다. 그중에서도 건축물에서 사용하는 에너지 소비량은 우리나라 전체 에너지 소비량의 약 25%로 우리나라 에너지 사용량의 많은 부분을 차지하고 있다[1]. 또한 건축물에서 사용되는 에너지 중에서 조명과 콘센트에서 사용되는 전기에너지는 약 33.5%에 달한다[2]. 이렇듯 많은 전기 에너지를 소모하는 조명용 전기 에너지를 절감하기 위하여 여러 연구가 진행되어 왔다[3-6]. 최근에는 소비 전력이 적은 LED로 전구를 대체하는 절감 기술에 대한 연구가 수행되고 있으나 LED 가격이 비싸서 아직 범용적으로 적용되기는 어려운 실정이다[7]. 또한 사람 유무를 감지하여 조명등을 켜고 끄는 에너지 절감형 조명기구에 대한 연구[8]도 이루어지고 있지만 이 역시 건축물에서 주로 사용하는 형광등용 조명기구에 사용하기 힘들다.

따라서 본 논문에서는 조도 센서를 이용하여 자연광인 태양광을 최대한 활용하는 조명 제어 알고리즘을 제시한다. 제안하고자 하는 알고리즘은 조도센서를 이용해 외부에서 실내로 유입되는 태양광의 세기에 따라 실내 조명등을 켜고 끄는 알고리즘으로서, 태양광이 실내 조도에 미치는 영향과 실내에 설치된 각 조명등이 실내에 미치는 영향을 분석하여 조명등의 사용시간을 줄인다. 이때 실내의 밝기는 기준 조도 이상이 되도록 유지한다. 제안한 알고리즘은 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 성능을 검증한다.

2. 본 론

본 조명 제어 알고리즘은 실내에 설치되어 있는 조명과 더불어 외부에서 들어오는 빛(태양광)을 고려한 조명제어 알고리즘으로서 실내의 조도를 일정 수준 이상으로 유지하기 위해서 외부에서 들어오는 빛을 최대한 활용하고 밝기가 부족한 부분에 대해서만 실내 조명등을 이용하여 기준 조도를 유지하는 제어방법이다. 이를 위하여 외부에서 들어오는 빛이 실내에 어떻게 영향을 미치는지 파악하고, 시간 및 날씨에 따른 태양광 세기의 변화에 대응하는 제어 알고리즘을 제시한다.

2.1 외부 채광에 의해 공급되는 조도 계산

실내 조도를 측정하기 위해 작업면에 설치되어 있는 조도 센서는 외부 채광에 의한 영향과 실내 조명등에 의한 빛의 영향을 모두 반영한다. 따라서 센서에서 측정된 값으로부터 식 (1)을 이용하여 외부 채광에 의해 공급되는 조도를 계산할 수 있다.

$$I_{out}(s_1, s_2, s_3) = I_{current}(s_1, s_2, s_3) - I_{lum}(s_1, s_2, s_3) \quad (1)$$

여기서 $s_{1,2,3}$ 는 센서의 번호, $I_{out}(\cdot)$ 는 외부 채광에 의해서 각 센서에 공급되는 빛의 조도를 나타내고, $I_{current}(\cdot)$ 는 현재 각 센서에서 측정되는 조도를 의미하며, $I_{lum}(\cdot)$ 은 조명등에 의해서 각 센서에 공급되는 빛의 조도를 의미한다.

실내 조명에 의해 공급된 조도 $I_{lum}(\cdot)$ 를 측정하기 위해서는 외부

에서 들어오는 빛을 차단하고 각 조명을 차례로 켜봐서 실내에 설치된 각 조도 센서에 미치는 영향을 파악하여 측정하도록 한다. 그림 1과 2는 각각 조명과 태양광이 실내 조도에 미치는 영향을 나타낸다.

2.2 공급 필요 조도량 계산

조명용 전기 에너지를 절감하기 위해 외부에서 들어오는 빛(태양광)을 이용하지만 태양의 상황이나 날씨에 따라서 태양의 밝기는 하루 내내 변한다. 따라서 실내 조도를 기준 조도 이상으로 유지하기 위하여 실내의 어두운 부분은 조명등에 의해서 부족한 조도를 보충하여야 한다. 전기 에너지를 최대한 절감하기 위해서는 실내로 유입되는 태양광을 최대한 이용하여 실내를 밝히고 부족한 부분에 대해서만 조명등을 이용하여 기준조도를 유지할 수 있도록 외부 환경변화에 대응하는 적절한 알고리즘이 필요하다. 제안하는 조명 제어 알고리즘은 실내 조도가 기준 조도보다 낮은 구역을 찾아내고 그 부분을 밝게 하기 위해서 어떤 조명등을 켤 것인가를 계산한다. 이를 위하여 공급 필요 조도량 계산이 필요하다. 이를 계산하는 방법은 식 (2)와 같다.

$$I_{need} = I_s(b_1, b_2, b_3) - I_{out}(s_1, s_2, s_3) \quad (2)$$

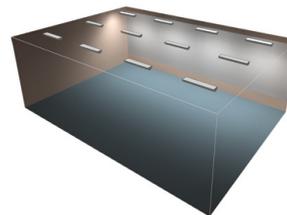
여기서 I_{need} 는 필요한 조도, $I_s(\cdot)$ 는 기준 조도, $b_{1,2,3}$ 는 각 센서의 위치에 대응하는 기준 조도 값을 나타낸다. 식 (2)를 이용하여 각 센서에 대응하는 공급 필요 조도량을 계산하여 실내에서 필요한 위치의 조명을 켜서 기준 조도를 유지할 수 있다. 그러나 빛은 확산의 성질이 있기 때문에 어느 한 곳의 조도를 높이기 위한 조명등의 스위치 조합은 여러 가지 경우가 될 수 있다. 이 경우 가장 최소한의 조명등을 켜는 조합을 선택하는 것이 에너지를 더 절감 할 수 있는 방법이다.

2.3 균일한 조도 유지를 위한 최적 제어

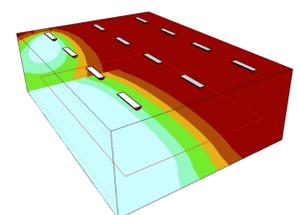
최소한의 에너지로 태양광과 연계하여 실내의 기준 조도를 유지하기 위한 조명등의 스위치 조합은 1개가 아닐 수 있다. 그럴 경우 '어떤 스위치를 작동하여 조명등을 켤 것인가'가 문제로 남는다. 에너지 관점에서 봤을 때는 어떤 조합을 선택하더라도 최소한의 에너지가 소비되기 때문에 여러 개의 조합 중에서 아무 조합이나 선택할 수 있다. 그러나 사람이 존재하는 공간이라는 관점에서 좀 더 사람에게 집중하면 다른 조합을 구할 수 있다. 즉 실내에서 일하는 사람이 편안하게 느낄 수 있도록 균일한 조도 분포를 가지도록 최적제어 알고리즘을 구성한다. 기준 조도 조건을 만족하게 하는 여러 가지 조명등 스위치 조합중에서 실내의 조도 분포를 가장 균일하게 하는 조명등을 점등하여 실내에 있는 사람이 빛의 변화에 대해 불편함을 느끼지 않도록 한다. 즉 각 스위치 조합에 대한 실내의 조도 분포의 분산 값을 구하여 분산이 가장 작은 스위치 조합을 선택한다.

$$V = \min(V_i), \quad 1 \leq i \leq n \quad (3)$$

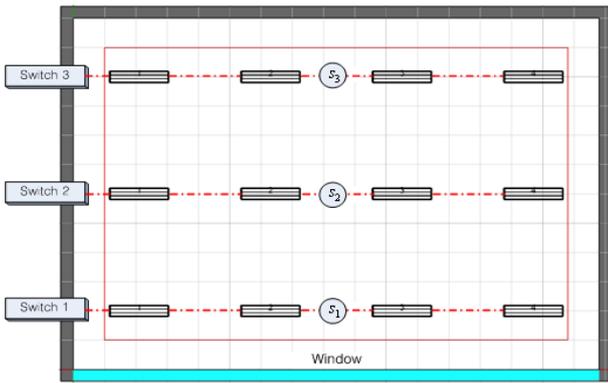
여기서 V 는 최종적으로 선택된 실내 조도 분포의 분산 값, V_i 는 각 스위치 조합별 실내 조도의 분산 값. n 은 스위치 조합의 개수를 나타낸다.



<그림 2> 조명등에 의한 실내 조도 변화



<그림 3> 태양광에 의한 실내 조도 변화

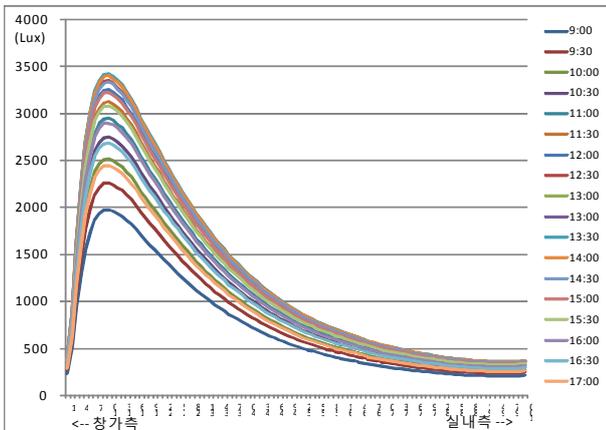


〈그림 4〉 센서와 전등의 위치(각 열마다 한 개씩 3개의 스위치로 제어, 실의 중앙을 따라 3개의 조도센서 배치)

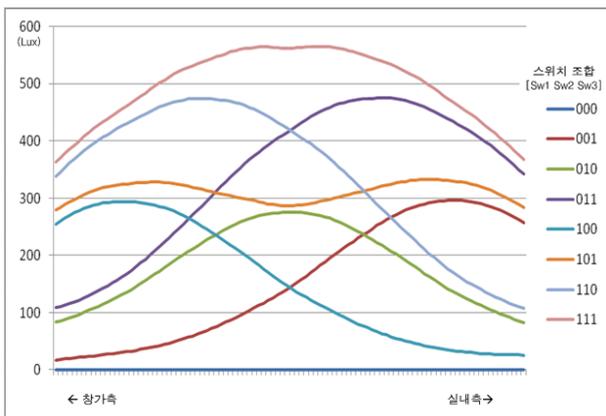
3. 모의 실험

제한한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 컴퓨터 모의 실험을 통하여 검증하고자 한다. 모의 실험을 위한 실의 방향 및 크기는 정남향에 가로 세로 길이가 6m × 8.4m이고 80%의 투과율을 가진 전면 유리창을 가진 방을 고려했다.

조도 감지 센서는 창문으로부터 실내 안쪽 방향으로 3개를 등간격으로 배치하였고, 전등은 총 3개의 회로로 구성되며 각 열마다 1개의 회로로 구성되어 있다. 그림 3은 센서와 전등의 위치를 나타내고 있다. 실내에 가구는 없으며, 조도 기준면은 바닥기준 75cm이다. 시뮬레이션 툴은 Relux와 Matlab을 사용하였고, 기준 조도는 500Lux로 설정하였다. 외부 채광에 의해 실내에 공급되는 빛의 양과 실내 조명에 의해 공급되는 빛의 양을 측정 한 그래프는 그림 4와 그림 5에 표시하였다. 그림 4는 시간에 따라 태양의 밝기가 변할 때 실내 조도에 미치는 영향을 표시하였고, 그림 5는 3개의 스위치로 만들 수 있는 8개의 실내 조명의 조



〈그림 5〉 태양광에 의한 시간별 실내 조도 변화



〈그림 6〉 조명등에 의한 실내 조도 변화

합에 대한 실내 조도 변화를 표시하였다. 그림 4와 5의 데이터를 바탕으로 기준 조도 500Lux를 만족하는 스위치 조합을 제안된 제어 알고리즘으로 계산하여 보면 표 1과 같다.

표 1을 보면 오전 9시부터 오후 5시까지 모두 기준조도 500Lux를 초과하는 만족할 만한 성능을 보여주었다. 또한 창가쪽 전등은 아침 9시부터 오후 5시까지 계속 꺼져있는 것을 확인 할 수 있고 창측에서 2번째 행에 있는 전등은 아침 10시 30분부터 오후 4시30분까지 꺼져있었다. 대부분의 건축물에서 실내조도를 유지하기 위하여 항상 모든 조명등을 계속 켜두는 것과 비교하면 주간 조명 에너지로 사용되는 전력의 약 40%정도로 전기 에너지 절감 효과를 기대할 수 있다.

4. 결 론

세계적으로 대체 에너지 개발 및 에너지 절감에 대한 기술을 개발하기 위한 연구가 한창이다. 본 논문에서는 건축물에서 사용되는 전기에너지를 절감하기 위한 조명제어 알고리즘을 제안하였다. 모의 실험 결과 제안된 조명제어 알고리즘은 천연 에너지인 태양광을 효과적으로 이용하여 실내 조도를 기준 값 이상으로 유지시켰으며 건축물에서 사용하는 전기 에너지의 많은 부분을 차지하고 있는 조명용 전기를 효과적으로 절감할 수 있었다. 또한 본 논문에서 제안한 알고리즘은 태양광으로 부족한 조명을 보충하기 위한 조명등을 켤 때 주변의 조도분포변화를 고려하여 실내 작업자가 편안함을 느낄 수 있도록 실내 조도를 좀 더 균일하게 유지할 수 있게 해준다. 또한 본 조명 제어 알고리즘은 광천정이나, 광선반 같은 태양광을 실내 깊숙이 전달시키는 장치와 같이 사용하게 됐을 때 더욱 뛰어난 성능을 발휘 할 수 있다.

감사의글

본 연구는 지식경제부 에너지·자원기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 홍성일, "에너지 소비 '0'... '그린홈' 시대 활짝", 이코노믹 리뷰, <http://er.asia.co.kr/>, 2009.
- [2] (사)IBS KOREA, "에너지 효율 향상을 위한 건축설비 최적 설계 및 관리시스템 기술개발 연구보고서", 2005.
- [3] 김한성, 김강수, "소규모 사무공간에서 디밍제어를 이용한 조명 에너지 절약에 관한 연구", 조명전기설비학회논문지, 제17권, 제5호, pp. 15-21, 2003.
- [4] 신기식, 박상동, "그린빌딩과 조명계획", 조명전기설비학회논문지, 제17권, 제5호, pp. 65-78, 2003.
- [5] 김훈, "조명광원으로서의 LED", 조명전기설비학회논문지, 제17권, 제5호, pp. 3-10, 2003.
- [6] 조성재, 이성민, 문철홍, "Zigbee 통신을 이용한 LED 조명제어 시스템 구현", 대한전자공학회 2008년 하계종합학술대회, pp. 323-324, 2008.
- [7] 정봉만, 정학근, "LED 조명기술 현황과 전망", 조명전기설비학회지, 제20권, 제1호, pp. 31-37, 2006.
- [8] 이해욱, 송준광, 함중걸, "인체감지 모듈을 적용한 에너지 절감형 조명기구", 조명전기설비학회지, 제15권, 제5호, pp. 36-41, 2001.

〈표 1〉 시간별 각 센서의 조도값

시간	센서 1 (Lux)	센서 2 (Lux)	센서 3 (Lux)	전등 스위치 [Sw1/Sw2/Sw3]
09:00	1819	807	528	Off/On/On
09:30	2058	883	562	Off/On/On
10:00	2278	951	592	Off/On/On
10:30	2388	832	521	Off/Off/On
11:00	2566	885	544	Off/Off/On
11:30	2710	931	564	Off/Off/On
12:00	2830	968	580	Off/Off/On
12:30	2913	995	592	Off/Off/On
13:00	2958	1009	598	Off/Off/On
13:30	2973	1017	602	Off/Off/On
14:00	2953	1010	597	Off/Off/On
14:30	2891	990	589	Off/Off/On
15:00	2803	990	575	Off/Off/On
15:30	2678	920	559	Off/Off/On
16:00	2524	874	538	Off/Off/On
16:30	2338	817	516	Off/Off/On
17:00	2222	934	584	Off/On/On