

Laplace 해석을 이용한 LED 조명 최적조도 제어에 관한 연구

박원우*, 정재용*, 한기정**, 이덕희**

*(주)POSCOICT 정보제어기술연구소, 책임연구원

***(주)POSCOICT 정보제어기술연구소, 수석연구원

e-mail : bemore@poscoict.com

A Study on Led-Light Control using Laplace Analysis

Won-Woo Park*, Jae-Yong Jeong*, Ki-Jeong Han**, Duk-Hee Lee**

*POSCOICT Senior Research Engineer

**POSCOICT Principal Research Engineer

요 약

본 연구는 실내의 조도를 균일하게 유지하기 위한 조명제어시스템(LMS) 및 그 알고리즘에 관한 것으로 특히 창가 및 실내에 배치한 조도센서로부터 얻어지는 조도(Luminance)값들을 경계조건으로 하여 조도분포에 관한 수학적 모델을 세운 후 Laplace 방정식의 조화함수(수치해석적 해)를 컴퓨터로 고속 시뮬레이션 함으로써 외부의 밝기변화에 따른 실내 조명등의 조도 분포를 차별화하여 제어하여 결과적으로 전력을 절감하면서도 실내 근무자에게 균일하고 자연스러운 조명환경을 제공할 수 있는 적응형 조명제어장치 및 그 알고리즘의 연구 내용을 소개하고 있다.

1. 서 론

최근 에너지 절감차원에서 정부 및 민간의 다양한 기존 조명이 LED 조명 으로 교체가 빠르게 이루어지고 있으며 더 나아가 LED 조명등 자체의 에너지 절감을 넘어서 IT 융합기술을 LED 조명에 적용하여 더 나은 에너지 절감과 함께 조명에 대한 제어, 조명상태 및 전력소모 모니터링, 그리고

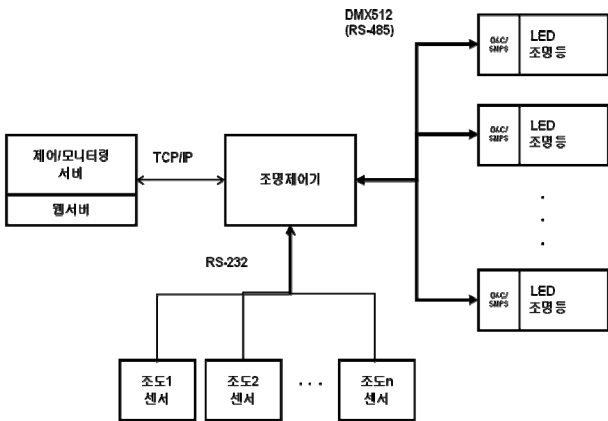
조명의 다양한 정보를 관리하려는 LMS(LED 조명관리 시스템)시스템의 개발이 시도되고 있으며 이를 통한 응용 연구개발이 다방면에서 이루어지고 있다.

본 연구는 건물의 실내에서 LED 조명등 자체의 전력절감뿐 아니라 창가에 배치한 조도센서에 의한 조명등의 추가 전력절감을 목적으로 하고 있으며, 특히 전력절감과 동시에 실내조도를 균일하게

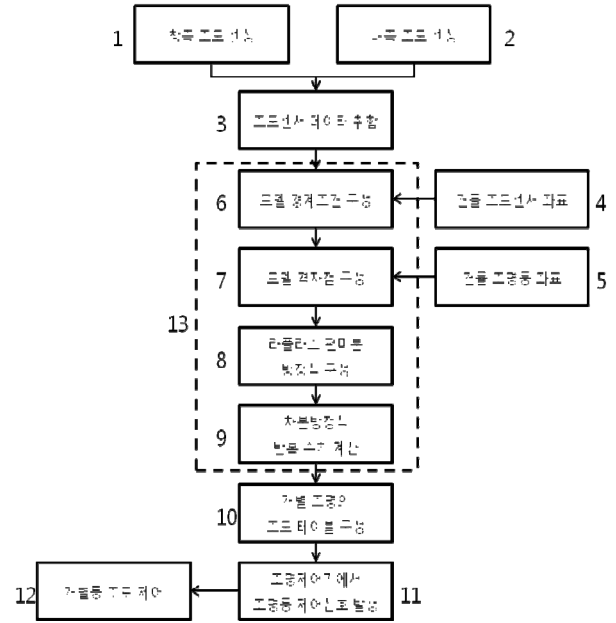
제공하기 위하여 조도 공간 분포를 2 차원 격자(Grid) 배열화 하여 수학적으로 모델링 한 후 수치해석적으로 계산함으로써 조명등의 조도를 산출할 수 있도록 하는 알고리즘을 제시하고 있다. 또한 앞서 언급한 수학적 모델링 결과를 LMS 시스템의 제어를 통해 실내조명등의 제어를 자동화하여 시간에 따른 태양광 변화에 의한 실외 조도 변화에 적응적으로 대응하고 필요 건물 외벽과 창호의 형태에 무관한 조도제어 또한 해결하고 있다.

2. 조명관리시스템(LMS) 구조

LMS 시스템(그림 1)은 우선 실내 내측 및 창가에 배치된 조도센서 들에서 센싱된 조도 값들이 RS232 통신으로 중앙의 조명제어기 (ILC)로 전송되면 제어기에서 시리얼 신호를 TCP/IP 네트워크 로 데이터를 라우팅 해주어 좌측의 제어/모니터 서버로 전송한다. 서버단 에서는 수신한 조도값 정보로부터 수학적 알고리즘 계산 및 ILC 로의 결과값 전송을 수행하며 ILC 로부터 조명등의 점등, 조도, 색온도 등과 같은 물리량 상태에 대한 모니터링과 제어가 동시에 이루어진다.



(그림 1) 조도 센싱 LMS 시스템 전체구성도



(그림 2) Laplace 공간해석 조도제어 절차

창측 및 내측에 위치한 조도센서들의 조도를 센싱한 후 경계선 상의 조도센서 값들을 모두 취합하면 미리 측정된 건물의 조도센서 위치 좌표값 들과 역시 미리 측정된 실내의 LED 조명등 위치 좌표값 들을 바탕으로 조도센서 좌표값 들로부터 2 차원 공간모델의 경계조건을 구성하게 된다. 다음은 실내조명등의 좌표값 들로부터 2 차원 격자모델을 구성하게 되는데 전단계에서 구성한 정보들로부터 Laplace 편미분 방정식(PDE)과 컴퓨터에서의 계산을 위한 그에 대응되는 2 차 Laplace 차분방정식(Difference Equation) 을 구성해 수치해석 계산을 수행하게 된다.

계산된 미분방정식의 해(조화함수, Harmonic Function)로부터 실내 격자점 조명의 상대 조도값 Table 을 역매핑(Inverse Mapping)에 의해 얻어내게 된다. 이 과정이 끝나면 실제 조명등의 물리적인 제어가 이루어지는데 ILC 에서 상대 조도값 테이블에 따라 조명 제어신호를 발생시켜 개별 LED 조명등에 대한 조도값으로 제어가 이루어진다.

3. Laplace 방정식과 공간조도 모델링

Laplace 방정식은 2 차원 공간에서 2 차 미분 가능한 실수함수 $L(x, y)$ 에 대해, 수식 1 의 첫번째 식을

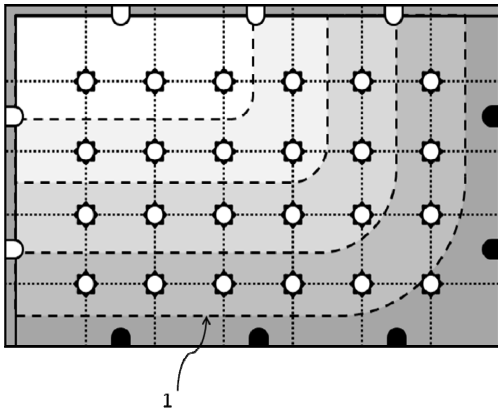
만족하는 L 를 찾는 문제로 정의된다. 이 식은 Gradient 나 라플라스 연산자(∇)를 이용해 수식 1 의 두번째 식으로 표기할 수도 있다.

$$\frac{\partial^2 L}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 L}{\partial y^2} = 0, \nabla^2 L = 0$$

(수식 1) 공간조도분포 Laplace 방정식

Laplace 방정식의 디리클레 문제란 어떤 영역 D 의 경계에서의 L(x, y)가 특정함수로 주어졌을 때, 영역 D 위의 해 L 을 구하는 것으로 표현된다.

2 차원 공간에서의 조명 모델의 경우에는 2 차원 건물 평면도의 경계선상의 조도를 특정한 조도들로 일정하게 유지하고 내부의 조도가 더 이상 변화하지 않을 때까지 기다린 후 (그림 3 참조) 내부의 조도 분포(격자점 상의 조도로 조명등 제어)를 찾는 것이 디리클레 문제에 해당한다.



(그림 3) 공간조도분포 수학모델링 개념도

디리클레 경계조건(Dirichlet Boundary Condition) 은 미분방정식의 경계조건 중의 하나이며, 경계에서 점의 값을 직접 주는 것이다. 수학자 디리클레(Dirichlet)의 이름을 따고 있다. Laplace 방정식의 해를 조화함수(Harmonic Function)라고 한다. 조화함수는 방정식의 해가 되는 영역에서는 항상 해석적(Analytic in Calculus)이다. 만일 두 함수가 각각 Laplace 방정식(또는 선형 동차 미분방정식)의 해라면, 두 함수의 선형 결합도 해이다.

$$l(x+h, y) + l(x, y+h) + l(x+h, y+h) + l(x-h, y+h) + l(x-h, y) + l(x, y-h) + l(x+h, y-h) + l(x-h, y-h) - 8l(x, y) = 0$$

(수식 2) 2 차 Laplace 방정식의 차분방정식

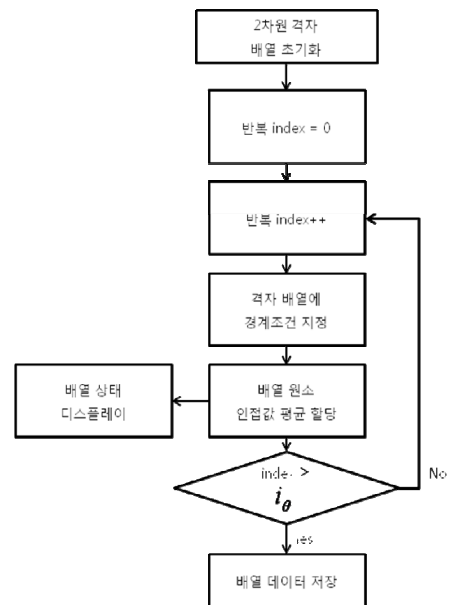
$$l(0, y_i) = 0, l(x_i, 0) = 0$$

$$l(W, y_i) = 1, l(x_i, H) = 1$$

(수식 3) 2 차원 조도배열의 경계조건 예

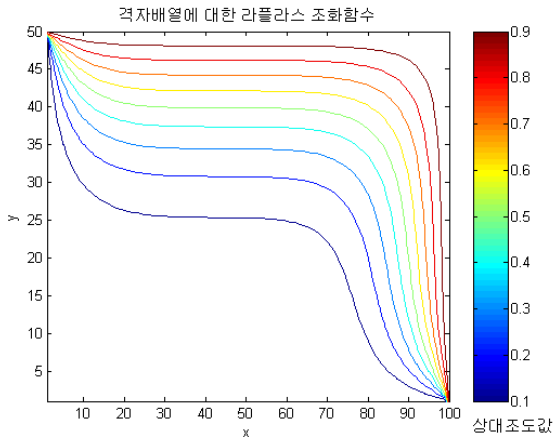
4. 시뮬레이션 및 결과 분석

라플라스 공간해석에 대한 컴퓨터 코딩을 통한 구현은 그림 4 와 같이 이루어지며 그 절차는 다음과 같다. 우선 공간 조도 분포함수 L(x, y)에 해당하는 2 차원 격자 배열을 초기화한 후 반복 수치해석을 위한 반복인덱스 값을 초기화 한 후 제어문 내에서 반복 인덱스 1 증가 시킨다. 다음 단계에서 공간 조도 분포함수의 초기 경계조건을 배열에 수식 3 과 같이 할당한다. 다음 단계에서는 순차적으로 배열 원소의 인접값(3x3)을 합산하여 배열 원소값 평균값(1/8)으로 재 배정한다. 이러한 과정이 임계 반복횟수에 이를 때까지 3 단계부터 반복되어 계산되며 마지막으로 산출된 격자 배열 데이터를 저장하게 된다.

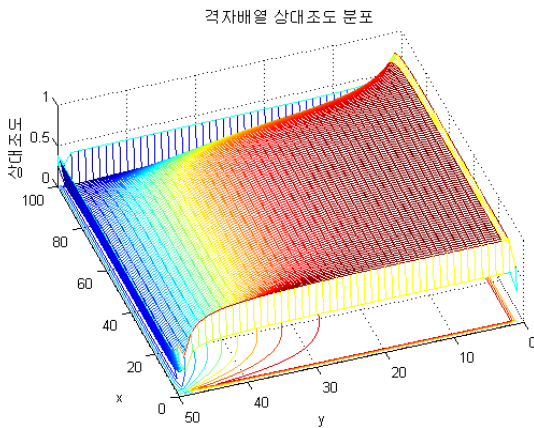


(그림 4) 수치해석 알고리즘 흐름도

본 연구의 시뮬레이션 및 결과 분석은 원래 완성된 LMS 시스템과의 직접 연동으로 이루어질 예정이었으나 당사의 LMS 시스템 개발의 지연(LED 조명등 제어모듈 최적화 부분)으로 실험실 레벨에서의 결과 분석은 아직 진행이 어렵고 대신 본 논문에서는 MATLAB 시뮬레이션을 통한 분석을 통해 그 효과를 검증하였다.



(그림 5) 2 차원 조화함수 시뮬레이션 결과 예



(그림 6) 3 차원 차별조도 역매핑 결과 예

컴퓨터 시뮬레이션 결과 그림 4 와 같이 창측으로부터 내측으로 갈수록 부드러운 공간조도분포 특성을 잘 보여주며 그림 5 에서 보인 바와 같이 계산된 조도분포에 대한 역매핑 맵도 부드럽게 나타남을 알 수 있다. 이렇게 구해진 역매핑 맵으로부터 격자점 조도가 구해지며 LMS 시스템을 통해 LED 조명등들에 대한 실제 조도 제어가 가능하게 된다.

5. 결론

본 논문에서는 실내 LED 조명의 최적 조도제어를 위한 2 차원 라플라스 공간해석 알고리즘을 분석 및 제안하고 시뮬레이션 결과를 확인하였으며 이것을 구현하기 위한 LMS 시스템을 설계하였다.

앞에서도 언급했듯이 본 연구에서 제시한 실내 공간조도 모사를 위한 라플라스 공간해석 알고리즘은 시뮬레이션 결과에서 조도제어의 적용가능성이 검증되었으며 앞으로 LMS 시스템과 연동하여 다양한 평면도 형태의 실내조명 환경에서 전력절감과 동시에 실내 거주자로 하여금 균일한 조도환경을 제공하는 기술로 쓰일 수 있을 것으로 예상된다.

[참고문헌]

- [1] Mary L. BOAS. "Mathematical Methods in the Physical Sciences, 3/e".
- [2] Kendall E. Atkinson "Introduction to Numerical Analysis 2/e".
- [3] 강형식, 강희원. "LED 조명 공학".
- [4] 황명근, 박승욱, 박상준, 서현배. "LED 조명 설계 및 시뮬레이션".
- [5] Laurene V. Fausett. "Applied Numerical Analysis Using MATLAB, CourseSmart eTextbook, 2/e".
- [6] 송언빈, 홍규장. "A Study on Illumination Control Range of Model Interior".
- [7] 최안섭, 박병철. 대한설비공학회, 2009, v.38, n.6 "친환경 조명 및 조명설계".
- [8] 한상필, 대한건축학회, 2008, v26, n08, p.317-324, "채광과 인공조명을 조화시키기 위한 조명제어방법에 관한 연구".