

사무소 건물에서 조광 센서에 의한 조명기구 제어에 관한 연구

-조도예측 프로그램 개발 및 검증을 중심으로-

Luminaire Control by Photo Sensors in Office Buildings
-Developing and Validating an Illuminance Estimation Program-

○ 육 정 원* 송 규 동**
Yook, Jeong-Won Song, Kyoo-Dong

Abstract

The purpose of this study is to develop a computer program which can be used to predict the illuminances at work plain and photo sensors for luminaire controls. The computer program was developed based on the Monte Carlo Method and ray-tracing technique, and its accuracy was validated through physical scale model measurements under a real sky condition. The current paper mainly discusses the background algorithm of the computer program and the validation process.

키워드 : 조명기구 제어, 조광센서, 조도예측 프로그램

Keywords : Luminaire control, Photo Sensors, Illuminance Estimation program

1. 서론

일반적으로 사무소 건물에서 전기 조명에 관련한 에너지 소비량은 건물 전체 에너지 소비량의 약 30% 정도로 높은 비율을 차지하고 있다. 대부분의 사용 시간이 주간인 사무소 건물에서 외부로부터의 자연광을 적극적으로 이용하면서 전기조명에의 의존도를 낮출 경우 막대한 양의 전기 에너지를 절약 할 수 있을 뿐 아니라 좀더 쾌적한 실내 환경을 창출 할 수 있게 된다. 도심지에 위치한 고층 사무소 건물은 상하 층간의 외부조건이 서로 상이하기 때문에 각 층별 그리

고 방위별로 자연채광의 효과가 다르게 된다. 따라서 사무실의 쾌적한 시작업과 조명에너지 절감을 위하여 각 층별, 방위별로 조명제어를 다르게 하여야 한다. 본 연구는 사무소건물에서 전기에너지 소비량을 절감하기 위하여 사용되어 지는 조명제어방법에서 조광용 센서에 의한 각종 제어 알고리즘의 성능을 파악할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 개발하고 검증 하고자 하였다. 본 연구에서 개발한 컴퓨터 모델은 기본적으로 Perez의 천공 모델, 몬테카를로 방법 및 광선 추적기법을 적용하였다. 본 논문은 주로 컴퓨터 모델의 정확성을 검증하기 위하여 실시된 축소모형 실험 과정과 그 결과에 대하여 논 하였다.

*정회원, 한양대 대학원, 석사과정

**정회원, 한양대 건축공학과 교수, 건축학박사

2. 조명제어이론

사무소 건물의 주광을 이용한 조명제어 알고리즘은 각 층별 방위별 제어를 원칙으로 해야 한다. 특히 조광센서에 의해 시시각각 변화하는 외부로부터의 자연광의 양을 정량적으로 판단하여 작업면에 필요한 조도를 인공조명과 자연광의 합성된 양에 의존 함으로써 사무실의 쾌적한 시작업 환경의 제공은 물론, 건물 전체 에너지 소비량의 상당량을 차지하는 조명에너지를 절감할 수 있을 것이다. [그림 1]은 사무실에 적용될 주광 센서를 이용한 조명제어 알고리즘을 나타낸 것이다. 조광센서에서는 자연 채광에 의한 주광과 인공 조명에 의한 조도의 합이 실내 조도값으로 측정되고 이 조도값을 제어기로 보내게 된다. 제어기에서는 실내 조도와 설계 기준 조도를 비교 판단하여 조광제어신호를 조광제어기로 보내서 공급되는 전력을 조절하는 방법으로 실내의 인공 조명의 출력광속을 제어한다. 사용 되는 조광 제어기에 따라서 on/off control, step control, dimming control 의 방법으로 조명제어를 수행 하게 된다.

2.1 조명에너지 절감방법

2.1.1 창측 제어법

가장 효과적이고 간편한 방법으로 청천일에는 블라인드를 친 상태에서 담천일에는 블라인드를 걷고 주광을 받아들인 상태에서 작업면 조도를 기준으로 창측 1열 또는 2열을 소등하는 방법을 말한다.

2.1.2 재실감지 제어법

적외선 센서나 초음파 센서 등에 의해 재실자의 유무를 검출 자동적으로 조명의 점멸을 시행하는 방법을 말한다. 현재 재실 센서가 부착된 조명기구가 시판 중이다. 잦은 점멸은 시작업의 쾌적도를 저해할 수 있기 때문에 적용부문 공용부분의 제어와 라커룸, 응접실, 회의실 등 사용이 부정기적인 실의 제어에 주로 사용한다.

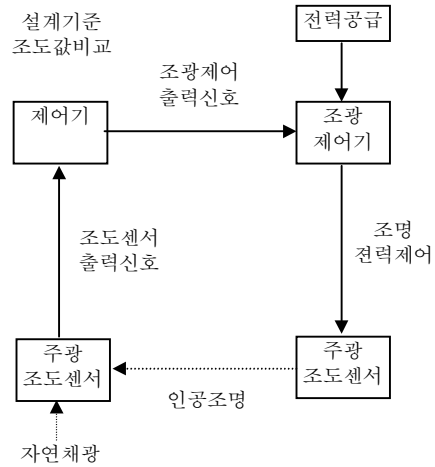


그림 1. 조광제어 알고리즘 흐름도

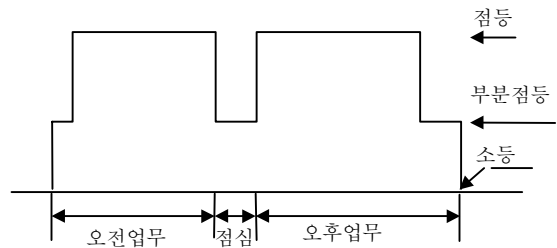


그림 2. 타임스케줄제어 개념도

2.1.3 적정조도조정 제어법

조명 설비를 설계하는데 사용 되어지는 설계 조도는 일반적으로 유지조도이다. 즉 램프가 시간이 지나서 효율이 떨어지더라도 유지하지 않으면 앓되는 조도이다. 따라서 초기의 조도는 설계시의 설정 조도보다 꽤 높게 설정된다. 이 여유조도를 절감하기 위하여 정기적으로 출력 조도를 측정하여 센서에 의한 자동적인 조광제어를 하는 방법이다.

2.1.4 타임스케줄 제어법

시각에 따라서 조명기구를 점등하는 조광제어이다. [그림 2]에 보인 바와 같이 업무를 시작하기 전후, 점심시간 등 건물의 사용율에 따라 조명기구를 요구되는 레벨 역할 등에 대하여 자동적으로 점멸 또는 조광을 하는 방법이다.

2.1.5 주광이용 제어법

외부로부터의 주광의 강도를 조광용센서에 의해 감지하고 이를 바탕으로 하여 인공 조명을 제어하는 방식으로 제어방식에 따라 on/off control, step control, dimming control 로 구분 할 수 있다.

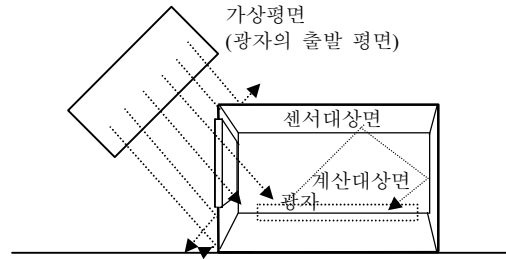


그림 3. 직사일광에 대한 모델링

3. 컴퓨터모델 개발

3.1 몬테카를로 방법

몬테카를로 방법이란 통계적 문제의 해결시 난수를 발생시켜 무작위 표본을 이용하는 방법을 가리킨다. 이 방법이 컴퓨터 모델에 적용되면 빛의 초기 방향을 결정할 수가 있다. 난수 발생 방법으로 균일 확률 분포를 갖는 난수가 발생된 후 이를 이용해 재료 특성에 맞는 확률 분포를 가지도록 변환시켜야 한다. 변환 방법으로는 역변환 방법(Inverse Transformation Method)과 거부법(Rejection Method)이 널리 사용된다. (Sobol, 1994)

3.2 Perez 모델

자연채광에 의한 실내 조도를 예측하기 위해선 직사일광과 확산 천공광의 합인 외부 조도를 파악해야만 한다. 여기서 직사일광은 계산식을 이용해 예측할 수 있지만 확산 천공광의 경우 실제 천공 상태의 휘도 분포를 정확하게 예측하는 것이 난관이었다. Perez 모델(Perez et al. 1990, 1993)은 태양 천정각, 천공청정도, 천공 밝기 및 수증기량의 4 가지 인자를 이용해 천공휘도분포를 모델링하여 계산대상점에서의 확산 천공광에 의한 조도를 계산할 수 있다.

3.3 컴퓨터모델의 개요

본 연구에서 개발한 컴퓨터 모델은 기존의 주광 율법이나 광속법(Lumen Method)와는 달리 직사일광에 의한 실내 작업면 조도도 계산이 가능하다. 직사일광에 의한 실내 조도를 계산하기 위해서는 외부 법선면 직달조도와 태양고도, 방위각들을 먼저 구해야 한다. 태양의 위치와 외부 법선면조도가 결정되면 [그림 3] 에보인 것처럼

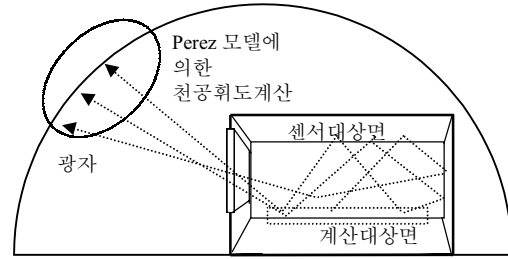


그림 4. 확산천공광에 대한 모델링

계산대상실의 개구부를 포함할 수 있는 가상의 평면을 만든다. 이 가정상의 평면은 태양광선이 평행광선이라는 조건에 의해 가능하며 이 평면에서 몬테카를로 방법에 의해 광선의 출발점을 결정하게 된다. 그리고 평면의 면적과 외부법선면 조도에 의해 각각의 광자가 갖는 에너지를 결정하게 된다. 몬테카를로법에 의해 발생된 광자는 측창을 통과하여 계산 대상면에 도달하게 된다. 그리고 작업면에 직접 도달하지 않는 광선은 실내의 각 표면에서 상호 반사한 다음 작업면에 도달하게되는데 이때의 광선의 반사방향과 진행방향도 몬테카를로 방법과 광선 추적기법에 의해 결정한다.

확산 천공광에 의한 실내 조도를 계산하기 위해서는 먼저 Perez 모델 모델에 의한 외부 수평면 확산 조도와 천공의 휘도 분포를 구한다. 확산 천공광에서는 광자의 발생위치와 광자의 방향을 결정하기 어렵기 때문에 직사일광과는 반대로 [그림 4] 와 같이 광자를 계산 대상면에서 발생시켜 광자가 외부천공에 도달하도록 하고 도달된 천공지점의 휘도를 사용하여 실내 조도

를 결정하게 된다.

4. 축소 모형 실험에 의한 검증

본 연구에서는 개발한 컴퓨터 프로그램의 정확성을 검증하기 위하여 조광센서의 위치, 실내반사성분, 창호의 투과 특성의 변수를 적용하여 축소모형을 제작하고 실험을 행하였다.

4.1 축소 모형 제작

실험에 이용한 축소모형은 [그림 5], [그림 6], [그림 7]에 보인 바와 같이 가로 9m, 세로 9m인 정사각형 단위공간으로 천정고 3m의 일반 사무실을 1/15으로 축소하여 만들었고 작업면의 높이는 0.8m로 하였다. 전면은 정측창을 설치하였고 실내 반사성분은 천정면 80% 확산반사, 측벽 60% 확산반사, 바닥면 33% 확산반사의 무광 회색으로 채색하였다. 또한 실내상호반사성분을 결정하기 위하여 동일한 축소모형을 하나 더 제작되 실내의 모든 면을 무광 흑색으로 처리하였다. 실내 조도의 측정점은 창측으로부터 1.5m, 4.5m, 7.5m 측벽으로부터 1.5m, 4.5m, 7.5m의 3 x 3의 9 개로 정하였다.

조광용 조도센서는 [그림 8]에 보인것과 같이 창을 2등분하는 지점에서 창측에서 1.5m, 3m, 4.5m의 3곳에 설치 하였다. 또한 외부의 수직면 조도, 수평면 조도와 일사량을 측정하기위한 센서를 4개 설치 하였다. [그림 9]는 실험에 사용된 축소모형의 사진과 조도센서가 설치된 모습이 보인 것이다.

4.2 축소 모형 실험

[그림 10]은 H 대학교 제 2 공학관 옥상에서 모형을 실험대 위에 설치하고 1998년 9월 25일 오전 9시부터 오후 16시 까지 1시간 간격으로 측정하는 모습이다. 축소 모형은 정남향으로 하였고 실험 당일의 천공상태는 부분 담천공 상태이고 측정에 사용된 장비는 15개의 LI-210SA 조도센서(작업면 9개, 천정면 3개, 외부 3개)와 1개의 LI-200SA 일사센서와 데이터 로거와 노트북 컴퓨터 그리고 아스만 온도계 1개 등이다.

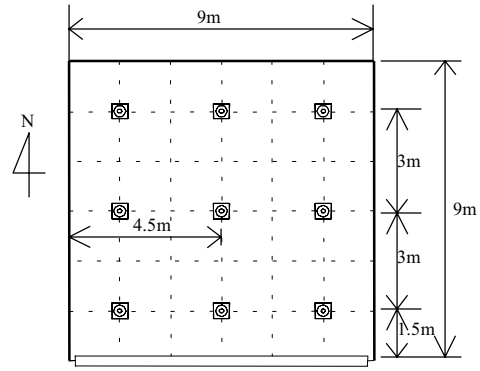


그림 5. 모형의 평면도

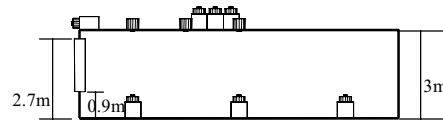


그림 6. 모형의 단면도

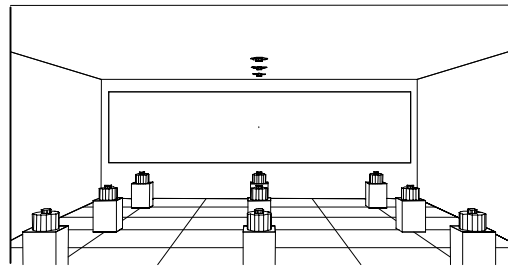


그림 7. 내부모형 투시도

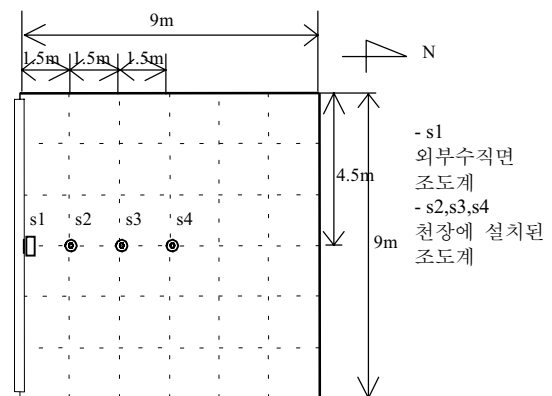


그림 8. 조광용 조도센서의 위치

조도의 측정은 매 시간 4 가지 조건으로 수행되었다. 주광에 의한 작업면의 조도는 직달성분과 실내 상조반사성분으로 구성되는데 본 실험에서는 직달성분과 실내반사성분으로 분리하여 측정하기 위하여 실내반사율을 조정하여 내부반사율 천정 80%, 측벽 60%, 바닥면 33%의 조건과 내부를 무광 흑색으로 처리한 조건의 두가지에 대해 실험을 행하였다.



그림 9. 모형에 설치된 조도센서 사진

4.3 측정치와 계산치의 비교

4.3.1 작업면 조도의 비교

[그림 11]과 표 1 은 1998 년 9 월 25 일 정오시 측정된 각 지점에서의 작업면 조도와 컴퓨터 프로그램에 의해 계산된 값을 보인다. [그림 11]과 표 1 에서 보는 것과 같이 평균 오차율이 9.86% 이내로서 본 연구에서 개발한 컴퓨터 프로그램의 정확성이 비교적 높은 것으로 검증 되었다.



그림 10. 축소모형 실험장치 사진

4.3.2 조광용 조도센서 위치의 조도 비교

[그림 12]와 표 2 는 1998 년 9 월 25 일 정오시 4 군데의 조광용센서에 의해 측정된 조도와 컴퓨터 프로그램에 의해 계산된 조도를 비교한 것이다. 결과에서 알 수 있듯이 평균오차율이 13.19% 로서 컴퓨터모델이 비교적 정확한 것으로 사료되었다.

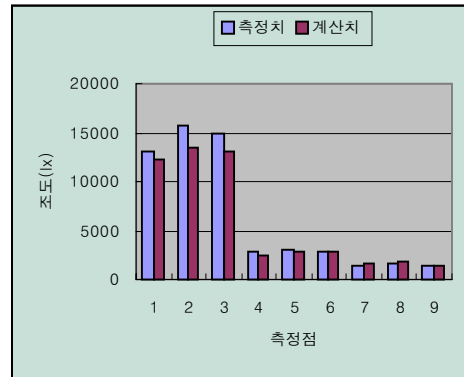


그림 11. 작업면 조도 (1998.9.25.12:00)

4.4 조광용센서 조도에 대한 작업면 조도의 비

표 3 은 1998 년 9 월 25 일 정오시 네군데에 위치한 조광용센서에 의해 측정 및 계산된 조도에 대한 작업면 각 지점의 측정 및 계산된 조도의 비를 보인 것이다. 표 3 은 조광용센서의 조도값에 대한 작업면 각 지점에서의 조도값의 비는 조광제어기에 의한 인공조명기구의 출력을 제어하는데 필수적인 데이터의 한 예를 보여주고 있다. 즉, 일반적으로 조광용센서는 천정면이나 창면에 설치되고 조광용센서의 위치에서 측정된 조도값을 기준으로 하여 작업면 각 지점의 설계 조도를 만족시키기 위해 인공조명의 출력을

표 1. 작업면 조도의 측정치와 계산치 비교

지점	측정치(lx)	계산치(lx)	오차율(%)
1	12963.08	12199.64	5.89
2	15745.1	13384.81	15.99
3	14847.82	13308.05	11.91
4	2771.38	2549.58	8.00
5	3162.36	2792.53	11.69
6	2910.17	2840.275	2.40
7	1505.77	1628.73	8.47
8	1535.05	1781.52	16.06
9	1368.92	1500.83	9.64
평균오차율			9.86

정확하게 제어할 수 있게 된다. 또한, 1년치 기상자료를 이용하여 Perez의 모델에 의해 설계중인 건물의 각층에서의 조광용 센서 조도와 작업면 조도가 계산되면 자연광에 의한 조도를 고려하여 인공조명기구의 출력을 제어함으로써 절약되는 전기에너지를 정량적으로 평가할 수 있게 된다.

5. 결론

본 연구에서는 사무소 공간의 작업면 조도와 조광용센서에서의 조도를 예측할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 개발하였고, 축소모형실험을 통해 그 정확성을 검증하였다. 본 연구에서 개발된 컴퓨터 프로그램에 의해 설계 단계의 건물에 대해 조광용 센서의 조도를 계산하고 이에 대한 작업면 각 지점에서의 조도비를 계산함으로써 조명기구의 제어 알고리즘의 개발을 물론 연간 조명에너지 소비량의 예측도 가능할 것으로 사료된다.

6. 참고문헌

- 1.대한전기협회, 「현대 조명환경 시스템」, 대한전기협회, 서울, pp 52~57, 1993.
- 2.Sobol, Ilya M., 「A Primer for the Monte Carlo Method」, CRC Press, Florida, 1994.
- 3.O'Connor, Jennifer., 「Tips for Daylighting」, LBNL-39945, California, 1997.
- 3.Choi, An-Seop., *A Systems Modeling Approach to the Analysis of Daylight Dimming Systems*, Pennsylvania State University, 1997.
- 4.Kato, Yoshito; Komatsu Naoki; Nishimori Katsumi. *Feasibility of Lighting Control by Fuzzy Reasoning*, J.Illum.Engng.Inst. Jpn. Vol.80, No.2, pp3~8, 1996.
5. Perez, R.; P. Ineichen; R.Seals.; J. Michalsky. and R. Stewart. *Modeling Daylight Availability and Irradiance Components from Direct and Global Irradiance*, Solar

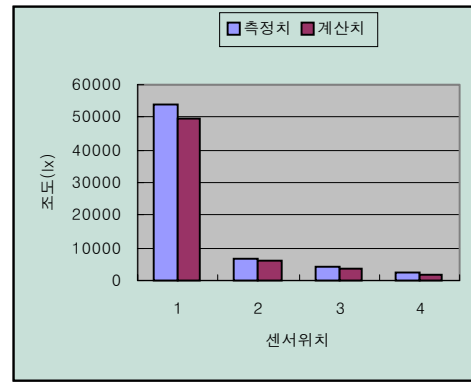


그림 12. 조광용센서 조도(1998.9.25.12:00)

표 2. 조광용센서 조도의 측정치와 계산치비교

지점	측정치(lx)	계산치(lx)	오차율(%)
S1	53930	49825	7.61
S2	6928.20	6037.05	12.86
S3	4195.54	3975.22	5.25
S4	2603.38	1899.38	27.0
평균오차율			13.19

표 3. 조광용조도센서에 대한 작업면조도의 비 (단, 괄호안의 조도비는 컴퓨터프로그램에 의해 계산된 값)

조광용 센서 작업면 센서	S1 수직면	S2 천정면	S3 천정면	S4 천정면
1	0.290 (0.245)	1.871 (2.229)	3.089 (3.109)	4.980 (6.475)
2	0.353 (0.269)	2.276 (2.446)	3.752 (3.411)	6.049 (7.104)
3	0.333 (0.263)	2.143 (2.390)	3.539 (3.333)	5.704 (6.943)
4	0.062 (0.051)	0.400 (0.466)	0.660 (0.650)	1.065 (1.353)
5	0.071 (0.056)	0.451 (0.510)	0.754 (0.712)	1.215 (1.482)
6	0.065 (0.057)	0.420 (0.519)	0.694 (0.724)	1.18 (1.508)
7	0.034 (0.033)	0.217 (0.298)	0.359 (0.415)	0.578 (0.865)
8	0.034 (0.036)	0.222 (0.326)	0.366 (0.454)	0.590 (0.948)
9	0.031 (0.030)	0.198 (0.274)	0.326 (0.382)	0.526 (0.797)

- 6.Perez, R. ; R.Seals.and J. Michalsky. *Modeling Skylight Angular Luminance Distribution from Routine Irradiation Measurements*, Journal of the IES, Vol.22, No1, pp10~17, 1993.