

주광이용 조광제어시스템의 적용성 향상을 위한 조명 에너지 절감량 예측 프로세스 개발 및 적용사례

(The Process and Example on the Prediction of Lighting Energy Savings for Daylight Responsive Dimming Systems Application)

홍성관* · 박병철 · 최안섭 · 이정호

(Seong-Kwan Hong · Byoung-Chul Park · An-Seop Choi · Jeong-Ho Lee)

요 약

광센서 조광제어시스템은 유용한 주광의 실내유입을 통하여 인공조명의 에너지를 절감하는 시스템이나, 웨이딩 시스템에 의한 주광유입의 차단으로 인하여 그 적용성은 미비하다. 따라서 광센서 조광제어시스템의 적용성 및 에너지 절감량 향상을 위해서는 자동롤러셰이딩 시스템과의 통합은 필수적이다. 본 연구는 두 시스템을 통합한 주광이용 조광제어시스템의 적용성 향상을 위하여 시스템 적용 시 에너지 절감량을 예측할 수 있는 프로세스를 개발하고 이를 사례에 적용하였다. 개발된 프로세스는 주광이용 조광제어시스템의 초기투자비용 환수 및 시스템 적용을 위한 타당성 분석의 자료로 이용될 것이다.

Abstract

Daylight responsive dimming systems are energy saving systems using available daylight. It is not popular to be adopted in buildings because of blocked daylight by shading systems. Therefore, both daylight responsive dimming systems and automated roller shading systems should be integrated. In this research, prediction process of yearly lighting energy savings is developed for application integrated systems in buildings, and then the process is applied to an example building. The predicted data which are yearly lighting energy savings using developed process in a building are useful as a part of feasibility study for determination of application of such integrated systems.

Key Words : Daylight Responsive Dimming Systems, Automated Shading Systems, Yearly Lighting Energy Savings, Prediction Process

* 주저자 : 세종대학교 건축공학과
Tel : 02-3408-3761, Fax : 02-3408-4331
E-mail : skhong0710@gmail.com
접수일자 : 2008년 10월 23일
1차심사 : 2008년 10월 28일
심사완료 : 2008년 11월 7일

1. 서론

1.1 연구의 배경

국내의 건설시장은 건물 높이 제한 및 용적률 완화 등의 건축규제 완화로 인하여 초고층 건축물이 늘어나고 있으며 건축물의 에너지 소비가 상승하고 있다. 국내의 전체 에너지 소비 형태를 살펴보면 건축물에 사용되는 에너지는 38[%]이며 건축물에서 사용되는 에너지 중 조명 에너지는 건축물 전체 에너지 소비의 22[%]이다[1]. 국내 에너지 소비량은 세계 9위(2006년 기준)이며 최근 8년간 에너지 수입 의존도가 96.85[%]에 달하는 등 우리 나라는 전형적인 에너지 의존형 국가이다[2]. 또한, 전 세계적으로 신재생에너지의 활용비를 확대 및 보급의 필요성이 증대되고 있으며 건축조명 분야에서는 이러한 추세에 맞춰 태양광(주광)을 활용한 조명 에너지 절약시스템을 개발하고 있다.

1.2 연구의 목적

본 연구의 목적은 광센서 조광제어시스템과 자동 롤러쉐이딩 시스템을 통합한 주광이용 조광제어시스템을 위한 건축물의 에너지 절감량 예측 프로세스를 개발하고 이를 사례에 적용하는 것이다. 예측된 절감량은 시스템의 초기투자비용 환수 및 시스템 적용 타당성분석이 가능하여 시스템의 적용성 향상에 기여할 것이다.

1.3 연구의 방법

본 연구는 다음 그림 1과 같은 연구 방법 및 절차를 이루어진다. 선행 연구를 통해 시뮬레이션 방법론을 분석하고, RADIANCE 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 실시한다. RADIANCE 시뮬레이션 데이터를 에너지 절감 프로세스에 적합한 방법론에 따라 분석하고 사례 적용을 통해 에너지 절감량을 예측한다.

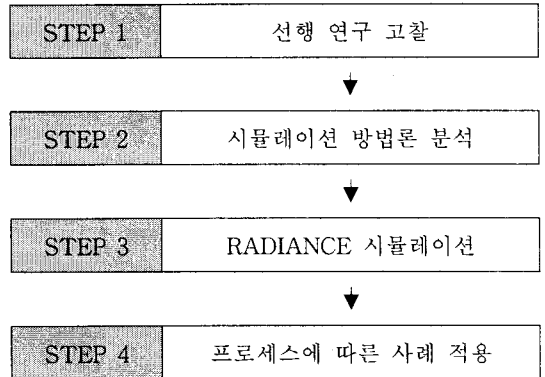


그림 1. 연구 방법 및 절차
Fig. 1. Procedure and Method of Research

2. 이론고찰

2.1 조광제어구역 결정

빛의 세기가 가장 열악한 담천공에서의 주광을 고려한 시뮬레이션 조도값과 인공조명만을 고려한 시뮬레이션 조도값을 합하였을 때 창문으로부터 일정

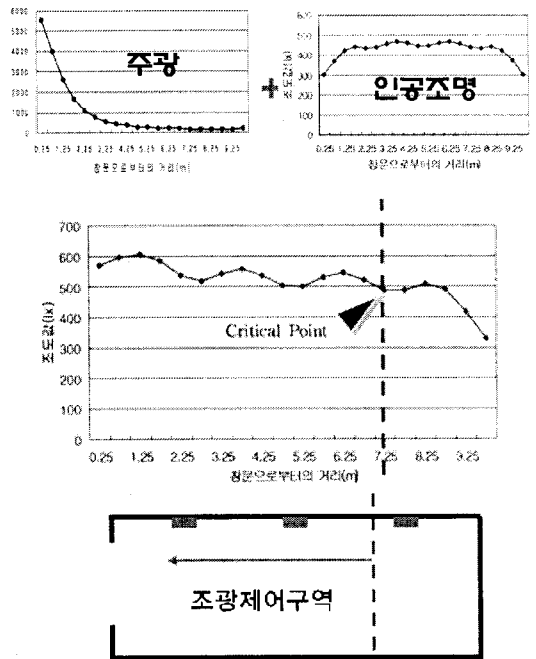


그림 2. CP를 이용한 조광제어구역 결정
Fig. 2. Determination of Dimming Zone using CP

간격 떨어진 모든 지점의 조도가 목표조도 이상을 만족할 수 없다. 그리고 목표조도를 미달하는 지점 중 최초로 나타나는 변곡점을 CP(Critical Point)라고 한다[3]. 창면으로부터 목표조도를 미달하는 최초의 변곡점(CP)까지의 영역을 조광제어구역으로 결정한다. 만약 공간에 CP가 발생하지 않는다면 조광제어구역은 공간 전체로 결정되어진다. 그림 2는 CP를 이용한 조광제어구역 결정에 대한 그림이다.

2.2 BIN Method와 4절기법

BIN Method는 냉·난방 부하계산의 연간 에너지 절감 예측방법으로 여러 가지 외기 조건에서 일어나는 순간 열부하를 계산하고, 그 결과를 외기조건을 포함한 BIN이라 불리는 온도 간격의 빈도수(Hours of Occurrence)에 따라 실내의 열부하를 가중 계산하는 방법이다[4]. BIN Method는 매 월의 대표일을 기준으로 청천공, 부분담천공, 담천공의 천공별 에너지 절감량을 산출하고 매 월의 천공별 평균일수를 곱하여 연간에너지 절감량을 예측하는 방법으로 사용된다. 4절기법은 춘분/하지/추분/동지를 대표일로 하여 계산하는 방법으로, 선행연구를 통하여 BIN Method와의 유효성이 검증되었으며 본 연구에서는 계산의 간편화와 시간의 절약을 위하여 4절기법을 사용하였다[5]. 표 1은 1년을 4절기로 나누어 구분한 표이다.

표 1. 4절기법의 구분 및 일수
Table 1. Number of Quarter Year Method

2월~4월	5월~7월	8월~10월	11월~1월
89일 (춘분)	92일 (하지)	92일 (추분)	92일 (동지)

2.3 롤러셰이드 높이 제어방법

롤러셰이드의 높이 제어는 실내로 들어오는 직사일광을 차단하고 롤러셰이드의 패브릭을 통한 유용한 주광의 확산 유입이 가능하다. 롤러셰이드의 높이 제어는 일영각을 활용하여 계산된다[6]. 일영각은

건물의 입면에 수직인 면에서의 태양 고도를 말한다. 일영각은 직사일광이 건물 내부에 미치는 영향을 알아보기 위한 척도로 쓰이며 식 (1)을 이용하여 계산된다. 그림 3은 일영각의 개념도를 나타낸다[7].

$$\alpha_p = \arctan\left[\frac{\sin\alpha_t}{\cos\alpha_s}\right] \quad (1)$$

여기서,
 α_p = 일영각
 α_t = 태양고도
 α_s = 입사각

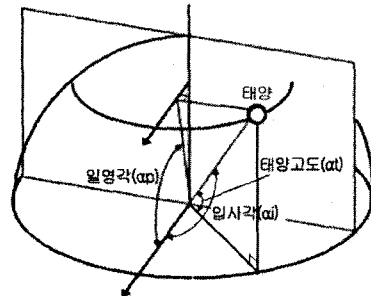


그림 3. 일영각의 개념도
Fig. 3. Diagram of Profile Angle

일영각에 의한 롤러셰이드의 높이 제어를 통해 직사일광이 유입되는 깊이를 제한할 수 있으며 공간의 가구배치나 재실자의 동선 등을 고려하여 직사일광의 유입깊이를 설정할 수 있다. 담천공 상태에서는 직사일광의 유입이 없어 눈부심을 유발하지 않기 때문에 롤러셰이드를 모두 열어 유용한 주광을 최대한 유입한다. 청천공이나 부분담천공 상태에서는 롤러셰이드 높이를 제어하여 불필요한 직사일광의 유입을 차단한다.

롤러셰이드를 통한 주광의 유입깊이 설정에 관한 식은 다음 식 (2)를 사용한다. 그림 4는 롤러셰이드 높이 제어에 대한 개념도이다[8].

$$h = d \times \tan\alpha_p - h_w \quad (2)$$

여기서,
 h = 롤러셰이드 높이

d = 직사일광의 유입깊이
 α_p = 일영각
 h_w = 창틀높이

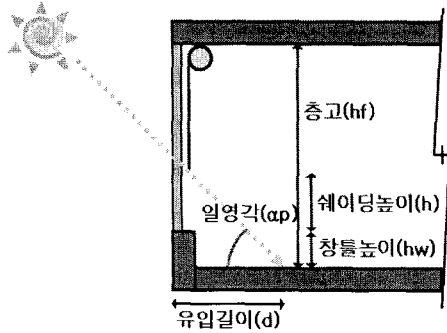


그림 4. 롤러셰이드 높이 제어에 관한 개념도
 Fig. 4. Diagram on the Control of Roller Shade

3. 에너지 절감량 예측 프로세스

주광이용 조광제어시스템의 조명 에너지 절감량 예측 프로세스는 그림 5의 과정을 거친다. 첫째, 건축물의 내·외부 모델링을 실시한다. 둘째, CIE청천

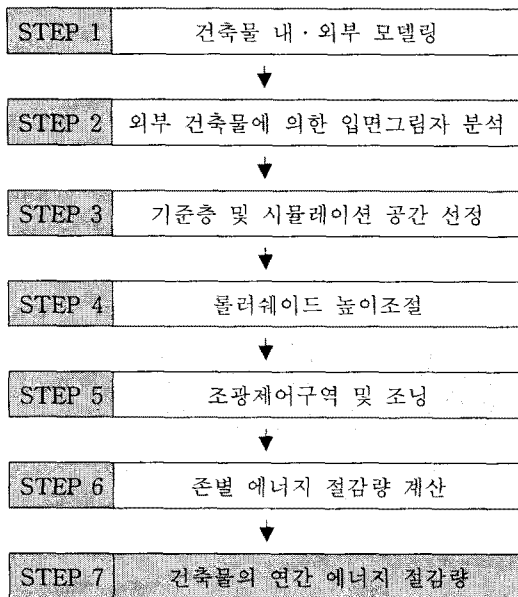


그림 5. 연간 에너지 절감량 예측 절차
 Fig. 5. Prediction Procedure of Yearly Energy Savings

공 상태에서 건축물의 외부 모델링을 통한 음영 및 일조비율을 산정한다. 셋째, 에너지 절감량 예측을 위해 건축물의 대표성을 갖는 기준층 및 시물레이션 공간을 선정한다. 넷째, 천공에 따라 롤러셰이드 높이를 제어하는데 직사일광이 외부 건축물에 의해 반사되거나 지나치게 강하여 주광이 과다 유입되는 경우에는 창면에 대한 휘도값을 기준으로 제어할 수 있다. 다섯째, 주광이용 조광제어시스템이 적용될 조광제어구역과 조닝(Zoning)을 설정한다. 여섯째, 존(Zone)별 에너지 절감량을 계산한다. 마지막으로 4 절기법을 이용하여 건축물의 연간 에너지 절감량을 예측한다.

4. 조명 에너지 절감량 예측 적용사례

조명 에너지 절감량 예측을 위한 시물레이션 적용 대상은 서울시 서초구에 위치한 51개층(지상 43층, 지하 8층)의 초고층 오피스 건축물이다. 건축물의 외피는 모든 입면이 커튼월 시스템으로 이루어져 있다.

4.1 건축물 내·외부 모델링

건축물의 내·외부 모델링은 RADIANCE 시물레이션을 위하여 AutoCAD 2002로 한다. 내·외부 모델링은 각각의 재질과 종류별로 layer를 설정하고 'torad'파일을 이용하여 '*rad'로 변환하고 RADIANCE 프로그램으로 시물레이션을 실행하였다. 그림 6, 7은 사례 적용에 선정된 건축물의 내·외부 모델링이다.

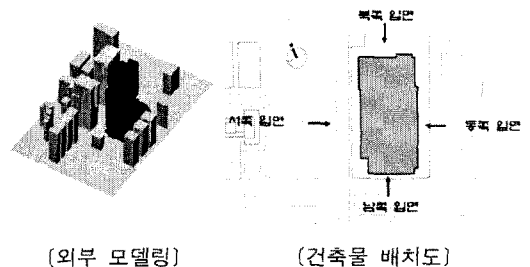
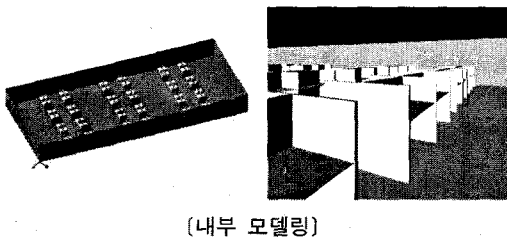


그림 6. 건축물의 외부 모델링 및 배치도
 Fig. 6. Exterior 3D Model and Site Plan

표 2. 입면별 일조 비율
Table 2. Sunshine Areas for Each Facade

구 분		8시	9시	10시	11시	12시	13시	14시	15시	16시	17시	18시	19시
층분	동	0.77	0.81	0.78	0.80	0.87	0.90	-	-	-	-	-	-
	남	-	-	0.83	0.83	0.93	0.95	0.93	0.92	0.78	0.67	0.56	-
	서	-	-	-	-	-	-	0.58	0.85	0.41	0.47	0.32	-
	북	0.71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
하지	동	0.81	0.82	0.87	0.92	0.94	-	-	-	-	-	-	-
	남	-	-	-	-	0.87	0.90	0.87	0.87	0.75	0.52	0.21	-
	서	-	-	-	-	-	-	0.75	0.66	0.53	0.64	0.57	0.60
	북	0.83	0.79	0.62	-	-	-	-	-	-	-	-	-
동지	동	0.73	0.64	0.63	0.66	0.69	0.90	-	-	-	-	-	-
	남	0.56	0.69	0.67	0.81	0.98	0.98	0.96	0.90	0.70	0.49	-	-
	서	-	-	-	-	-	-	-	0.54	0.46	0.34	-	-
	북	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



(내부 모델링)

그림 7. 건축물의 내부 모델링
Fig. 7. Interior 3D Model

4.2 음영 및 일조 비율 산정

담천공 상태에서는 직사일광이 비치지 않기 때문에 주광의 유입을 극대화할 수 있는 환경이다. 반면, 청천공과 부분담천공 상태에서는 롤러셰이드를 외부 상황에 맞게 제어해야 한다. 외부 장애물에 의해 직사일광이 차단되어 질 때에는 에너지 절약을 위하여 롤러셰이드를 담천공 상태와 마찬가지로 완전히 열여 유용한 주광의 유입을 높여야 한다. 음영 및 일조 비율 산정은 외부 장애물(건축물)에 의한 입면별 직사일광의 유입 면적을 파악하여 롤러셰이드 작동

유무를 결정할 수 있다. 음영 및 일조 비율의 계산은 격자 모듈을 출력된 이미지 위에 겹쳐 그 면적의 비율을 산정한다. 청천공과 담천공의 음영 및 일조 비율은 시간별로 출력된 각 입면별 이미지에 의해서 결정된다. 그림 8은 출력 이미지와 격자 모듈이 겹쳐진 사례 건축물의 이미지 예시이다.

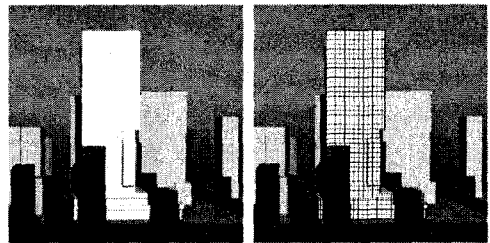


그림 8. 출력 이미지와 격자모듈이 겹쳐진 이미지
Fig. 8. The Rendered and Overlapped Images

음영 및 일조 비율은 외부 장애물에 의해 건축물의 입면에 그림자가 발생하는지에 관한 분석으로 CIE청천공 상태에서 시뮬레이션 하였다. 표 2는 시뮬레이션 결과로, 각 입면별 일조비율을 나타낸다.

표 3. 입면별 롤러셰이드 높이
Table 3. Roller Shade Controlled Height for each Facade

시 간		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
층분	남쪽 입면	일영각	-	89	73	64	58	52	48	42	36	27	13
		주광유입깊이(m)	-	0.05	0.89	1.41	1.81	2.27	2.61	3.22	3.99	5.69	12.56
		롤러셰이드 높이(%)	100	100	100	60	50	40	30	30	20	20	10
	동쪽 입면	일영각	16	27	38	50	63	79	-	-	-	-	-
		주광유입깊이(m)	10.11	5.69	3.71	2.43	1.48	0.56	-	-	-	-	-
		롤러셰이드 높이(%)	10	20	20	40	60	100	100	100	100	100	100
	북쪽 입면	일영각	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		주광유입깊이(m)	2.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		롤러셰이드 높이(%)	40	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

4.3 기준층 및 시뮬레이션 공간 선정

정확한 조명 에너지 절감량 예측을 위해서는 모든 층을 시뮬레이션 하는 것이 가장 이상적이다. 그러나 시간의 절약을 위하여 기준이 되는 층과 공간을 선정한다. 기준층 및 시뮬레이션 공간 선정은 전체 에너지 절감량 예측의 기본이 되는 공간이기 때문에 건축물의 대표성을 가진 공간으로 선정한다.

공간은 기준층의 세 공간에서 대표성을 지닌 한 공간을 선정하였고 시뮬레이션 공간의 크기는 33.94× 14.65[m]이며 그림 9는 기준층과 조명 평면도이다.

4.4 롤러셰이드 높이조절

롤러셰이드 높이조절에 대한 사례 적용에서 직사일광의 유입깊이는 가구배치를 고려한 0.9[m]로 제한하였다. 높이조절은 일영각을 이용하여 산정되며 [6], 각 롤러셰이드의 높이별 단계는 10[%] 단위로 반올림하여 11단계로 제어하였다. 표 3은 일영각에 따른 주광의 유입깊이와 롤러셰이드의 제어 높이 결정의 예시이다.

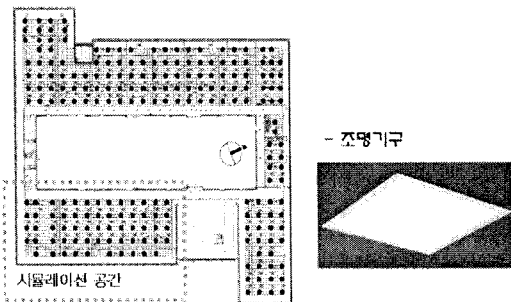


그림 9. 기준층과 조명 평면도
Fig. 9. Standard Floor and Lighting Plan

4.5 조광제어구역 및 조닝

시뮬레이션 대상 건축물은 지상 43층, 지하 8층이며 기준층은 15층으로 선정하였다. 시뮬레이션

조광제어구역 및 조닝 선정을 위하여 주광과 인공 조명에 의한 조도를 합하고 목표조도를 만족시키지 못하는 첫 변곡점, 즉 CP를 찾는다. 사례 적용에서는 직사일광의 영향이 미치지 않는 담천공 상태에서 100[%]의 조명 출력 상태에서의 설계 조도와 오피스

권장 조도 500[lx]로 나누어 분석하였으나 모든 지점의 조도값이 기준 조도를 초과하여 CP가 발견되지 않았다. 이는 모든 공간이 조광제어구역에 속하는 것을 말한다. 그림 10은 오피스 권장 조도 500[lx]일 때의 조도분포 예시(출분 13시)이다.

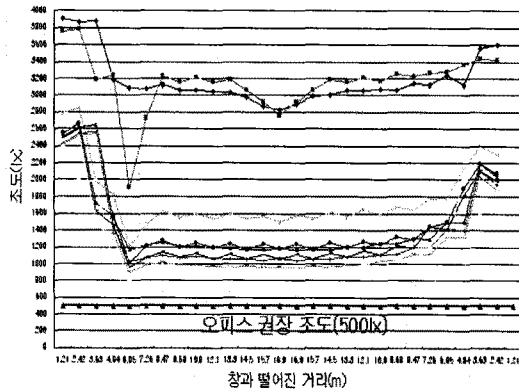


그림 10. 조도분포
Fig. 10. The Distribution of Illuminances

조닝의 결정을 위한 시뮬레이션은 3월/6월/12월 21일 9시, 13시, 15시에 수행하였다. 그림 11은 시뮬레이션 공간의 에너지 절감비율의 예시이며 에너지 절감률은 인공조명에 의한 평균 조도를 기준으로 하였다. 조닝 결정은 조광제어구역의 효율성을 위해 정확히 분리되어야 하지만, 용이한 시공과 시스템의 경제성을 고려하여 다음 그림 12와 같이 6개의 존으로 나누었다.

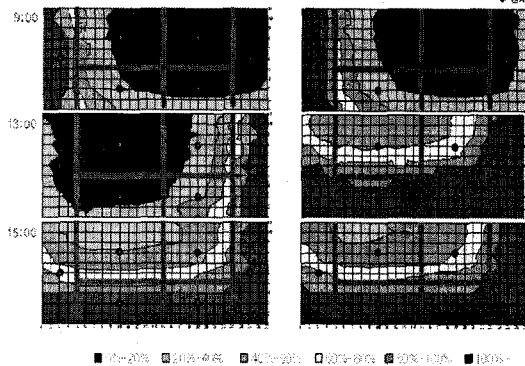


그림 11. 에너지 절감비율(3월 21일 9시, 13시, 15시)
Fig. 11. Ratio of Energy Savings

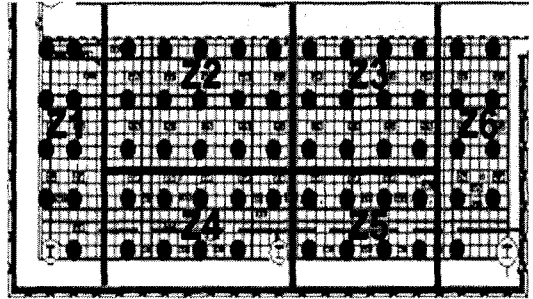


그림 12. 조광제어구역의 조닝
Fig. 12. Dimming Zoning of Dimming Zones

4.6 존별 에너지 절감률 계산

각 존별 에너지 절감률은 두 개의 기준 조도를 기준으로 하여 계산하였다. 첫 번째, 100[%]의 조명 출력 상태의 작업면(0.75[m])에서의 존별 평균 조도이며 센서의 직하부에 위치한 작업면에서 시뮬레이션 한다. 두 번째, 오피스 권장 조도인 500[lx]를 기준으로 하는 경우이며 앞선 방법보다 더 많은 에너지 절감이 가능하다.

100[%]의 조명 출력상태에서의 기준조도는 각 존별 중심의 작업면 높이에서 측정되었으며 각 존별 평균조도(100[%] 조명 산출)는 표 4와 같다. 표 5는 20개국 오피스 권장조도기준이며 오피스에서의 권장조도는 약 500[lx]이다[9].

표 4. 존별 평균조도
Table 4. Average Illuminances of each Zones

구역	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
기준조도([lx])	963	832	898	773	801	848

표 5. 20개국 오피스 권장조도기준
Table 5. Recommended Standard Illuminances for Office

국 가	일 반	VDT
호주	160	160
오스트리아	500	500
벨기에	300~750	500
브라질	750~1000	-
캐나다	200~300~500	300

국 가	일 반	VDT
중국	100~150~200	-
체코	200~500	300~500
덴마크	50~100	200~500
핀란드	150~300	150~300
프랑스	425	250~425
독일	500	500
일본	300~750	300~750
멕시코	200	-
네덜란드	100~200	500
러시아	300	200
스웨덴	100	300~500
스위스	500	300~500
영국	500	300~500
미국	200~300~500	300
한국	300~400~600	150~200~300

에너지 절감량 계산은 광속과 소비전력 사이의 측정 데이터를 고려한다. 광속과 소비전력 간의 기울기가 일차형인 것이 이상적이나 실제 측정 데이터(예시)는 그림 13과 같다[10].

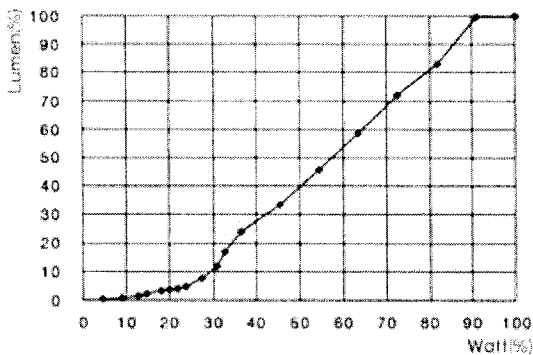


그림 13. 조광 안정기의 광속과 소비전력간의 관계
Fig. 13. Correlation of between Lumen and Watt of Dimming Ballast

4.7 연간 에너지 절감량 계산

(1) 연간 에너지 절감량 계산 절차

그림 14는 에너지 절감량 계산 절차로 연간 에너지 절감량 계산은 4절기법을 사용하고 있다. 천공별 에너지 절감 프로세스에 따라 1일 평균 에너지 절감

률을 구하고 천공일수를 고려한 분기별 평균 에너지 절감률을 구하여 연간 에너지 절감량을 예측한다.

(2) 1일 평균 에너지 절감률 계산 예시

천공공과 부분담천공 상태에서는 외부의 방해물에 의해 직사일광이 차단되어 입면에 그림자가 생기면 롤러셰이드를 올린다. 외부의 방해물 없이 입면에 직사일광이 비칠 때에는 음영 및 일조비율을 고려하며 담천공에서는 음영 및 일조비율에 대한 고려 없이 계산한다. 식 (3)과 표 6은 천공공 상태에서의 에너지 절감률 계산 예시이다.

$$A \times c + B \times d \quad (3)$$

여기서,

A : 에너지 절감률(롤러셰이드 Fully up)

B : 에너지 절감률(롤러셰이드 제어)

c : 외부 방해물에 의해 그림자가 생기는 비율

d : 일조비율

표 6. 1일 평균 에너지 절감률 계산 예시

Table 6. Example of Average Energy Savings Ratio

A	B	c	d	에너지 절감률
37[%]	74[%]	0.19	0.81	67[%]

(3) 연간 전체 에너지 절감량

연간 전체 에너지 절감량은 천공별 에너지 절감률에 음영 및 일조 비율을 고려한 1일 평균 에너지 절감률과 천공별 평균일수(2001~2006년 평균)를 곱한다. 각각의 천공별로 계산된 에너지 절감률을 평균내어 전체 에너지 절감률을 구하며 조명기구의 소비전력과 1일의 업무시간을 고려한 일조시간(춘/추분:11시간, 하지:12시간, 동지:10시간)을 곱하여 전체 에너지 절감량을 산정한다. 본 연구에서의 연간 전체 에너지 절감량 계산은 기준층의 주요 조명기구만의 소비전력을 고려하였으며 안정기나 부수적인 요소에 대한 소비전력은 고려하지 않았다. 롤러셰이드의 제어는 매 시간 조절 하였으며 연간 조명 에너지 절감량 계산 결과는 표 7과 같다.

주공이용 조광제어시스템의 적용성 향상을 위한 조명 에너지 절감량 예측 프로세스 개발 및 적용사례

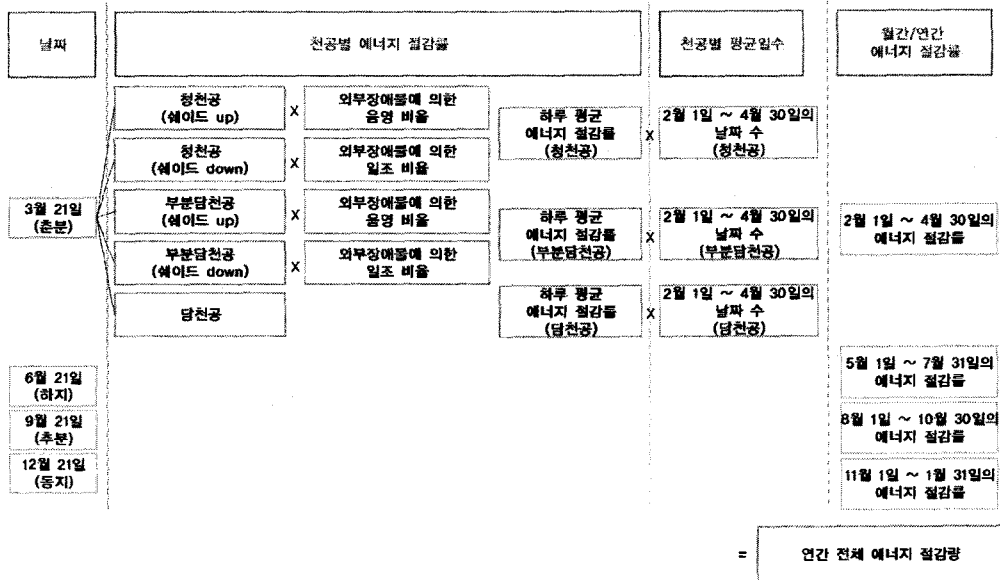


그림 14. 4절기법의 연간 에너지 절감량 계산 절차
Fig. 14. The Calculation Procedure of Yearly Energy Savings

표 7. 천공 상태에 따른 연간 에너지 절감
Table 7. Calculation of Yearly Energy Savings

구분		춘분	하지	추분	동지	
소비전력(Kw/h)		602				
주간시간(h)		11	12	11	10	
천공별 에너지 절감률	청천공	A	45	59	45	29
		B	65	68	65	54
	부분 담천공	A	34	35	34	20
		B	59	63	59	49
	담천공	A	42	51	42	27
		B	64	64	64	54
천공 일수	청천공	36.2	20	30.2	45.8	
	부분담천공	32.2	27.3	31.8	30.3	
	담천공	20.8	44.7	30	15.8	
평균 절감률	A	36	44	37	24	
	B	56	59	58	48	
에너지 절감 (KWh)	A	238,346	319,124	245,157	142,196	
	B	369,969	429,384	381,577	289,782	
연간 에너지 절감	A	944,823[KW/year](35[%] 절감)				
	B	1,470,712[KW/year](55[%]절감)				

A: 100[%] 조명출력 상태의 설계조도 기준

B: 오피스 권장조도 500[lx] 기준

4. 결론

본 연구는 연간 조명 에너지 절감량 예측을 위하여 개발된 프로세스에 따라 실제 건축물에 사례 적용을 하였다. 건축물 사례 적용에 대한 결과는 다음과 같다.

- 연간 에너지 절감량

(1) 설계조도 기준 : 944,823[KW/year]

(35[%] 절감)

(2) 권장조도 기준 : 1,470,712[KW/year]

(55[%] 절감)

본 연구는 시스템 적용성 향상과 타당성 분석을 위한 연구로 에너지 절감량을 예측할 수 있는 프로세스를 개발하였다. 본 연구는 건축물의 전체 공간이 아닌 일부 공간을 대상으로 시뮬레이션 한 것이며 향후 연구에서는 건축물 전체 공간을 대상으로 한 연구가 필요하며 시스템 초기투자비용에 관한 연구도 필요하다.

감사의 글

이 연구는 삼성건설의 연구비 지원에 의한 연구결과의 일부이며, 저자의 일부는 『2단계 BK21 사업』의 지원비를 받았음.

References

- [1] 김지연 외, 초고층건물의 조명에너지절약을 위한 BIPV 적용에 관한 연구, 한국태양에너지학회 춘계학술대회 논문집, 2007. 4.
- [2] 에너지경제연구원(<http://www.keei.re.kr>).
- [3] 최안섭 외, 광센서 조광제어시스템의 효율적 적용을 위한 조광제어구역 결정에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 제21권 제6호, 2005. 6.
- [4] 이만국 외, 수정방법을 이용한 냉난방부하 예측 프로그램 개발, 한국태양에너지학회 논문집 제21권 4호, 2001. 12.
- [5] 홍성관 외, RADIANCE 프로그램을 이용한 오피스 건축물에서의 에너지 절감율 예측을 위한 BIN Method 검토, 한국태양에너지학회 춘계학술대회 논문집, 2008. 4.
- [6] 임지선 외, Mock-up 실험을 통한 사무소 건축물의 Roller Shade 높이 제어 최적화에 관한 기초적 연구, 한국태양에너지학회 춘계학술대회 논문집, 2008. 4.
- [7] 최안섭, 주광의 이해와 계산 / 특집: 그린 빌딩과 태양 에너지 이용, Journal of the KCBC 1012, 2권, 4호.
- [8] 홍성관 외, 광센서 조광제어시스템과 자동롤러셰이딩을 위한 제어 소프트웨어 개발, 한국조명전기설비학회 춘계학술대회 논문집, 2008. 10.
- [9] Peter R. Boyce, Human factors in lighting 2nd edition, Lighting Research Center, pp.227.
- [10] 최안섭 외, 광센서 조광제어시스템의 성능향상을 위한 조광용 전자식안정기 성능평가 연구, 대한건축학회 계획계 제19권 제8호, 2003. 8.

◆ 저자소개 ◆

홍성관 (洪性觀)

1983년 7월 10일생. 2007년 세종대 건축공학과 졸업. 현재 세종대 건축공학과 석사과정.

박병철 (朴炳哲)

1977년 6월 16일생. 2004년 세종대 건축공학과 졸업. 2006년 세종대 건축공학과 건축환경설비 전공 졸업(석사). 현재 세종대 건축공학과 박사과정.

최안섭 (崔安燮)

1967년 10월 4일생. 1991년 한양대 건축공학과 졸업. 1993년 The Pennsylvania State University 건축공학 건축조명시스템 전공 졸업(석사). 1997년 The Pennsylvania State University 건축공학 건축조명시스템 전공 졸업(박사). 현재 세종대 건축공학과 교수.

이정호 (李正鎬)

1974년 5월 26일생. 1998년 한양대 건축공학과 졸업. 2000년 한양대학교 건축공학과 졸업(석사). 현재 삼성건설 기술연구소 과장.