

# 사무소건물에서 자연채광에 의한 조명에너지 절약의 평가

임 병 찬<sup>†</sup>

Colorado 대학교 토목환경건축공학과

## Artificial Lighting Energy Saving by Daylighting in Office Building

Pyeongchan Ihm<sup>†</sup>

Department of Civil, Environmental & Architectural Eng., University of Colorado, Boulder, CO, 80309, USA

(Received April 6, 2004; revision received May 16, 2004)

**ABSTRACT:** Artificial lighting accounts for a significant portion of the energy use in office buildings. Therefore, daylighting is considered one of the fundamental design features of energy-efficient buildings. However, complex daylighting simulation tools are not suitable for most designers to help in the decision-making process. This paper provides the results of a simulation analysis to determine the potential energy savings of daylighting effects reducing electrical energy consumption for office building. A whole building simulation tool is used to determine the effects of daylighting on lighting electricity use as well as total electricity use for typical office buildings. It was determined that daylighting does not provide significant additional lighting energy savings when glass transmittance is increased over 0.7. A simplified method is developed based on the analysis results to estimate the annual electrical energy savings attributed to daylighting.

**Key words:** Daylighting(자연채광), Glass transmittance(유리 투과율), Lighting(조명)

### 기 호 설 명

- $A_f$  : 건물의 전체 바닥면적 [ $m^2$ ]
- $A_p$  : 건물의 전체 외주부면적 [ $m^2$ ]
- $A_w$  : 건물의 전체 창문면적 [ $m^2$ ]
- $f_d$  : 자연채광을 통한 연간 조명에너지 절약률 [%]

### 그 리 스 문 자

$\tau_w$  : 가시투과율(Visible Transmittance)

### 1. 서 론

건물에서 자연채광에 의한 실내조명은 에너지 절약형 건물설계에서 기본적으로 고려해야 할 사항 중 하나이다. 일반적으로 건물에서 전기조명에 의해 소비되는 에너지량은 총 에너지 사용량의 30% 이상을 차지하고 있다.

기존의 실내조명 시뮬레이션 프로그램 중 ADEL<sup>(1)</sup>과 Superlite<sup>(2)</sup>은 여러 가지 다양한 자연채광을 평가할 수 있는 장점은 있으나 건물 설계과정에서 이 프로그램들을 사용하는 데는 많은 학습시간과 여러 가지의 입력과정을 필요로 함으로 사용하기가 용이하지 않다. 따라서 실제 건물 설계과정에서 자연채광의 성능 및 이를 통한 에너지 절약 가능성을 예측하여 설계에 반영하는 것은 쉽지가 않다.

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +1-303-492-0516; fax: +1-303-492-7317

E-mail address: tetonsy@empal.com

본 연구는 일반적인 사무소 건물에서 실내조명으로 사용되는 자연채광에 의해 절약되는 전기조명 에너지 사용량을 시뮬레이션 해석을 통하여 결과를 분석하였다. 일반적인 사무소 건물을 대상으로 건물에너지 시뮬레이션 프로그램인 DOE2.1E를 사용하여 인공조명의 전기사용량과 전체적인 에너지 사용량에 미치는 자연채광의 영향을 분석한다. 이 방법을 통하여 건물의 외주부면적, 바닥면적, 유리의 종류, 창문면적, 설정조도의 상호 연관관계를 분석하고 인공조명에서의 사용량에 대한 그들의 영향을 평가하였다. 건물에서 자연채광을 사용으로 인한 인공조명의 전기에너지 절약에 중점을 두었으며 냉난방시스템에 미치는 영향은 고려하지 않았다.

## 2. 시뮬레이션 개요

이 절에서는 시뮬레이션에 필요한 건물모델의 조건과 자연채광을 사용하기 위한 실내의 조명기준 및 지역에 따른 자연채광의 영향을 분석하기 위한 기상조건 등에 대하여 설명하였다.

### 2.1 건물모델

건물모델은 3,600 m<sup>2</sup>의 바닥면적을 가진 사각형 형태의 일반적인 사무소건물을 가정하였다. Fig. 1은 시뮬레이션에 사용된 건물의 외주부와 내주부의 구성을 나타내며 전체 바닥면적(A<sub>f</sub>)은 두 면적의 합이다. 외주부의 폭은 3.6m이며 건물의 폭과 깊이는 그림에서와 같이 변화하고 이들의 조합으로 여러 종류의 같은 바닥면적을 가진 건물모델들을 사용하였다.

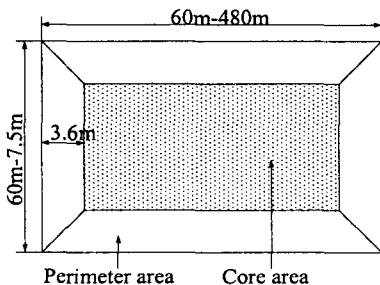


Fig. 1 Analyzed building model for typical office building.

### 2.2 시뮬레이션의 가정조건

본 연구에 사용된 시뮬레이션의 기본적인 가정조건은 아래와 같다. Table 1은 시뮬레이션의 개요를 나타낸다.

#### 2.2.1 차광(shading)

자연채광을 이용하여 실내조명을 하는 경우 재실자들에게 직접 노출되는 빛의 양이 증가함에 따라서 현휘(glare)가 발생하게 된다. 현휘를 제어하기 위하여 주간에 자연채광에 따라서 실내에 블라인드 같은 차광장치(interior movable shade)를 실내로 유입되는 최대 태양에너지량은 DOE2 프로그램의 설명서<sup>(3)</sup>에 기준하여 94 W/m<sup>2</sup>로 설정하였다. 현휘량과 태양에너지량 중에서 한 값이 설정된 최대값을 초과하는 경우 차광장치가 사용된다.

#### 2.2.2 인공조명

건물모델에서 인공조명은 매입형태의 형광램프를 가정하였으며, 조명사용 스케줄은 재실자가 근무하고 있는 일정을 가정하여 오전 8시부터 오후 6시까지 설정하였다. 조명밀도는 ASHRAE/IES의 사무소의 설계값에 준하여 14.0 W/m<sup>2</sup>을 사용하였다.<sup>(4)</sup>

#### 2.2.3 자연채광

건물모델에서 사무실 모듈의 기본치수는 폭 3.8 m, 깊이 3.7m, 천장 높이는 2.7m이며, 건물의 폭

Table 1 Simulation summary

Building model	• Office building
	• Floor area: 3,000 m <sup>2</sup>
Simulation assumption	• Depth of perimeter area: 3.6 m
	• Shading
	Max. glare: 22
	Max. solar radiation: 94 W/m <sup>2</sup>
	• Artificial lighting
	Fluorescent lamp
	Lighting density: 14 W/m <sup>2</sup>
	• Daylighting
	Dimming control
	Lighting setpoint: 50 fc
• Location	
Inchon and Ulsan	

Table 2 Window properties, range of window area to perimeter floor area ratios, and range of perimeter area to floor area ratios

Glazing (Label)	$\tau_w$	Window to perimeter area ratio ( $A_w/A_p$ )	Perimeter to floor area ratio ( $A_p/A_f$ )
Double clear (Glaze 1)	0.781	0~0.7	0.23~0.96
Double tint blue (Glaze 2)	0.505	0~0.7	0.23~0.96
Double grey (Glaze 3)	0.381	0~0.7	0.23~0.96
Double relective B clear-M (Glaze 4)	0.271	0~0.7	0.23~0.96
Double reflective D tint (Glaze 5)	0.228	0~0.7	0.23~0.96
Double reflective A clear-L (Glaze 6)	0.127	0~0.7	0.23~0.96
Double tint (Glaze 7)	0.073	0~0.7	0.23~0.96

과 깊이에 따라서 동서남북의 각 방향별로 사무실의 개수가 정해진다. 각 사무실마다 1개의 자연채광센서를 실의 중앙에 설치하며 연속적인 조광제어방식(dimming control)을 사용하였다. 실내 조명의 조도는 50 foot-candle(500 lux)을 기준으로 설정하였다.<sup>(5)</sup>

#### 2.2.4 기상자료

건물의 외부 기후조건과 위도에 따른 지리적인 영향을 평가하기 위하여 기상자료를 사용하였다. ASHRAE는 미국 기상청(US National Climatic Data Center)의 18년간의 기상자료를 근거로 하여 IWEC(International Weather for Energy Calculations) 형식의 미국을 제외한 227곳의 기상자료를 만들었다. 특히 IWEC를 바탕으로 하여 만든 EnergyPlus 프로그램의 기상자료 중에서 인천과 울산지역의 기상자료를 사용하였다. 이들의 EnergyPlus용 기상자료를 DOE2용 자료로 변환하여 연구에 사용하였다.

#### 2.3 시뮬레이션 변수

건물에서 창문을 통하여 실내로 유입되는 자연채광과의 관계를 연구하기 위하여 창문의 종류 및 창문면적과 바닥면적의 관계를 고려해야 한다. 일반적으로 창문과 바닥면적의 비는 0(창문이 없음)에서 1(유리벽) 사이로 규정할 수 있다. 또한 유리의 가시투과율의 변화에 따른 자연채광의 영향을 고려하기 위하여 여러 종류의 유리를 선정하였다. Table 2는 연구에서 사용된 7가지 유리의 가시투과율, 창문/외주부바닥의 면적비 및 외주부/전체바닥의 면적비를 나타낸다.

자연채광에 따른 인공조명의 전기에너지 절감량을 분석하기 위하여 정규화된(normalized) 인자들은 다음과 같다.

- $A_w/A_p$  : 창문의 크기와 자연채광이 가능한 바닥면적을 평가하기 위한 창문면적과 외주부면적과의 비율
- $A_p/A_f$  : 외주부면적과 전체바닥면적과의 비율이며 건물의 전체바닥면적에 따른 자연채광과의 관계를 평가할 수 있다. 이 값이 1일 경우는 건물 전체가 자연채광이 가능하다는 것을 의미한다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 실내 설정조건

Fig. 2에서는 인천지역에서 실내의 설정조도와

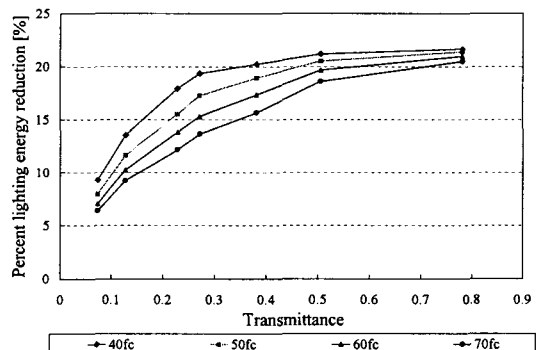


Fig. 2 Energy savings relative to illuminance level ( $A_p/A_f=0.29$ ).

유리의 투과율에 따른 자연채광의 영향을 분석하였다. 투과율이 클수록 에너지 절약률은 점차 증가하나 이 값이 0.5 이상일 경우 절약률은 둔화됨을 알 수가 있다. 설정조도가 낮을수록 자연채광에 의한 전기에너지의 사용량은 감소하며 투과율이 0.7 이상일 경우 설정조도를 낮게 하여도 에너지 절약률은 약 22%의 값을 나타내며 설정조도에 따른 영향을 거의 받지 않은 것으로 나타났다.

### 3.2 창문면적과 바닥면적의 관계

이 절에서는 창문면적과 외주부면적의 비율 ( $A_w/A_b$ )의 영향과 에너지 절감량과의 관계에 대하여 분석하였다.

Fig. 3은  $A_w/A_b$  비율의 증가에 따른 가시투과

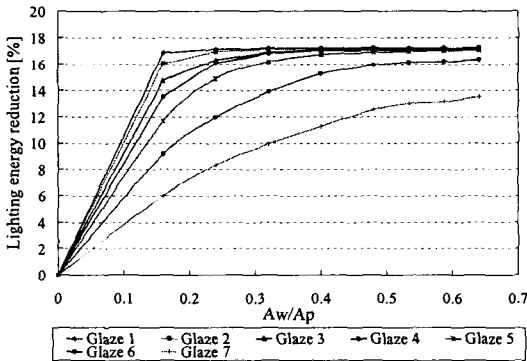


Fig. 3 Energy savings relative to glazing type ( $A_b/A_f=0.23$ ).

율이 서로 다른 유리의 에너지 절감률을 나타낸다. 예상한대로 유리의 종류와 무관하게 창문면적의 크기가 증가할수록 에너지 사용량은 줄어들었다. 또한 가시투과율이 높은 유리일수록 자연채광의 효과와 전기에너지 절감량은 큰 것으로 나타났다으며 최고 17%의 에너지 절감률을 보여준다.

Figs. 4~6은 창문면적과 외주부면적의 증가에 따른 자연채광의 효과가 전기에너지 절약에 미치는 영향을 나타낸다. 세 가지의 다른 유리 종류에 대하여  $A_w/A_b$  비율이 증가할수록 또한 일정한  $A_w/A_b$  비율에서 외주부면적의 비율이 증가할수록 에너지 절감률이 증가함을 알 수가 있다.  $A_b/A_f$  비율이 0.5 이상일 경우에서  $A_w/A_b$  비율이 0.5보다 크면 에너지 절감률이 크게 증가하지 않고 약 15%에서 20%의 절감률을 보인다.

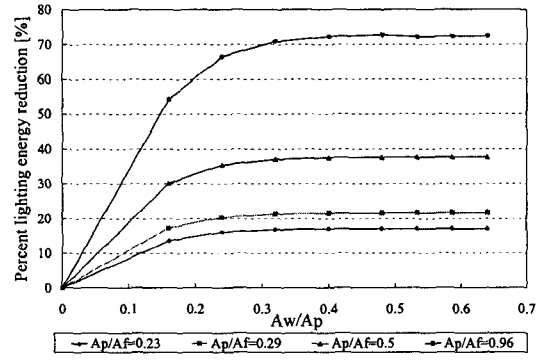


Fig. 5 Energy savings relative to double reflective B clear-M window (Glaze 4).

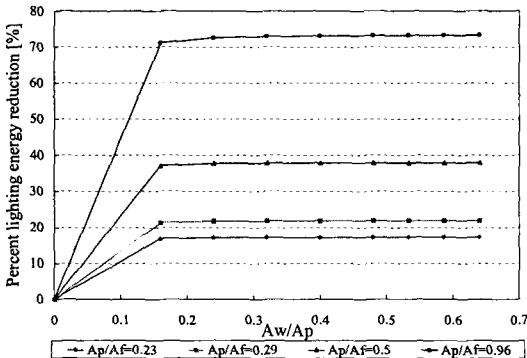


Fig. 4 Energy savings relative to double-clear window (Glaze 1).

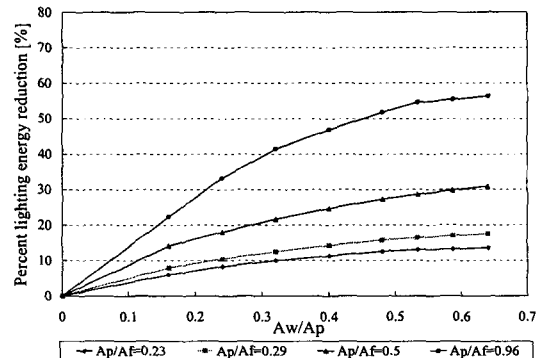


Fig. 6 Energy savings relative to double tint window (Glaze 7).

### 3.3 연간 에너지 절감량의 계산

Fig. 7과 Fig. 8은  $A_p/A_f$  비율이 각각 0.23과 0.96일 때 유리 종류에 대한 전기에너지 절감률을 나타내었다. 에너지 절감률은 유리의 종류와 무관하게 가시투과율, 창문면적, 외주부면적 등과의 관계에 따라서 비슷한 경향을 나타내고 있다.  $\tau_w \times A_w/A_p$  값이 증가할수록 에너지 절감률은 증가하나 두 그림에서 그 값이 0.25 이상일 경우 절감률은 더 이상 증가하지 않고 일정한 값을 나타내고 있다.  $A_p/A_f$  비율이 증가함에 따라 에너지 절감률은 증가하며,  $A_p/A_f$ 가 0.23일 때 최대 에너지 절감률은 17%, 0.96일 때는 73%를 나타낸다.

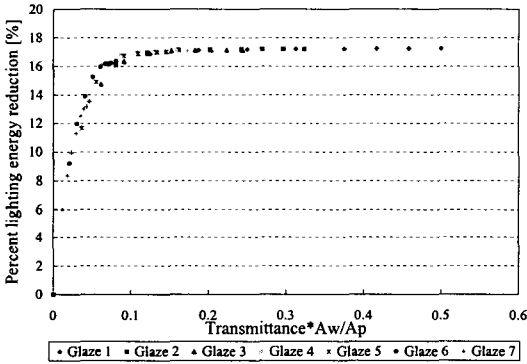


Fig. 7 Lighting savings relative to daylighting potential product ( $A_p/A_f=0.23$ ).

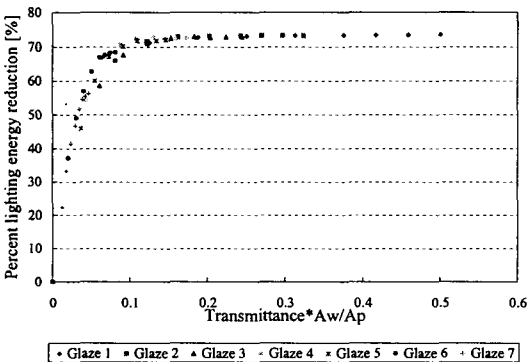


Fig. 8 Lighting savings relative to daylighting potential product ( $A_p/A_f=0.96$ ).

Fig. 9는  $A_p/A_f$  비율의 증가에 따른 Glaze 4의 에너지 절감률을 나타낸다.  $A_p/A_f$  비율이 증가할수록 최대 에너지 절감률은 증가하며 이 값은 절감률에 대하여 하나의 배수값(multiplier)의 역할을 함을 알 수가 있다.

Fig. 10에는 위의 관계를 잘 나타내고 있으며,  $f_d/(A_p/A_f)$ 와  $\tau_w \times (A_w/A_p)$ 의 관계는 함수식으로 나타낼 수 있다. 식(1)은 건물에서 자연채광을 통한 연간 전기에너지 절감률을 지수함수를 이용하여 가시투과율, 창문면적, 외주부면적, 바닥면적의 관계를 나타낸다. 여기서  $a$ 와  $b$ 는 회귀분석을 통하여 구한 계수이다.

Table 3는 식(1)에서 계산되는 인천과 울산지역의 연간 에너지 절감률에 대하여  $a$ ,  $b$ 의 계수

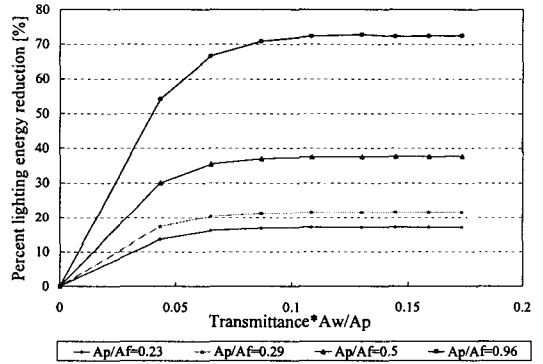


Fig. 9 Lighting energy reduction by  $A_p/A_f$  for double reflective tint (Glaze 4).

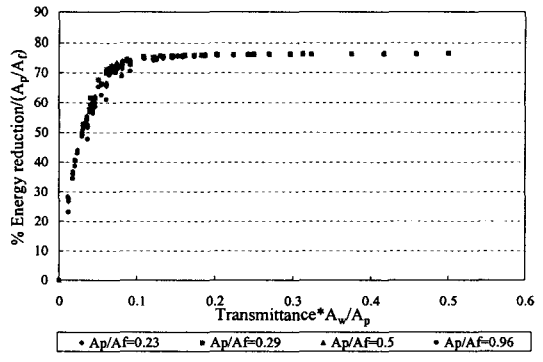


Fig. 10 Energy savings as a function of perimeter area for all geometries and glazing type.

Table 3 Correlation coefficients for the lighting reduction

	<i>a</i>	<i>b</i>	$R^2$
Inchon	35.6	76.0	0.9970
Ulsan	33.9	75.9	0.9964

값과 회귀모델의 결정계수  $R^2$ 을 나타낸다.  $R^2$  값은 인천의 경우 0.997, 울산의 경우는 0.996으로 나타나 개발된 전기에너지 예측 절약률에 관한 식이 타당함을 확인하였다.

$$f_d = b \left[ 1 - e^{-\frac{a_r A_w}{A_f}} \right] \frac{A_p}{A_f} \quad (1)$$

#### 4. 결 론

본 연구는 실내의 설정조도, 유리의 종류, 창문 면적, 외주부면적, 바닥면적의 관계분석을 통하여 실내조명으로 사용되는 자연채광을 사용하여 전기조명 에너지 사용량의 절약방안에 관하여 고찰하고 회귀분석을 통하여 전기에너지 절약률을 예측하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

(1) 유리의 투과율이 클수록 에너지 절약률은 점차 증가하나 이 값이 0.5 이상일 경우 절약률은 둔화됨을 알 수가 있다. 설정조도가 낮을수록 자연채광에 의한 전기에너지의 사용량은 감소하며 투과율이 0.7 이상일 경우 설정조도를 낮게 하여도 에너지 절약률은 설정조도의 영향을 별로 받지 않은 것으로 나타났다.

(2) 유리의 종류와 무관하게 창문면적의 크기가 증가할수록 에너지 사용량은 줄어들었다. 또한 가시투과율이 높은 유리일수록 자연채광의 효과와 전기에너지 절감량은 큰 것으로 나타났다.

(3) 회귀분석을 통하여 개발된 자연채광에 의한 건물의 연간 에너지 절약률 방정식은 99% 이상을 예측하여 방정식이 타당성이 있음을 확인하였다.

이상의 연구결과로서 본 연구에서 개발한 자연채광에 의한 연간 전기에너지 절약률 예측방정식은 건물 설계과정에서 자연채광에 의한 성능을 예측하고 설계에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

1. Erhorn, H. and Szerman M., 1994, Documentation of the Software Package, Adeline, Stuttgart, Germany.
2. LBL, 1993, Superlite software, Lawrence Berkeley Lab, US Department of Energy.
3. DOE, 1993, DOE-21E Daylighting Supplement, Lawrence Berkeley Lab, US Department of Energy, Berkeley, CA.
4. ASHRAE, 1999, ASHRAE/IESNA Standard 90.1-1999, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, GA.
5. Rea, M. S., 2000, IESNA Lighting Handbook, 9th ed., Illuminating Engineering Society of North America, Chapter 10.
6. EIA, 1997, Nonresidential Buildings Energy Consumption Survey: Characteristics of Commercial Buildings 1.
7. Li, D.H.W. and Lam, J.C., 2003, An investigation of daylighting performance and energy saving in a daylit corridor, Energy and Buildings, Vol. 35, No. 4, pp. 365-373.
8. Santamouris, M., Argiriou, A., Dascalaki, E., Balaras, C. and Gaglia, A., 1994, Energy Characteristics and savings potential in Office Building, Solar Energy, Vol. 52, No. 1, pp. 59-66.
9. Bodart, M. and Herde, A.D., 2002, Global energy savings in offices buildings by the use of daylighting, Energy and Buildings, Vol. 34, No. 5, pp. 421-429.
10. Andersson, B., Adegran, M., Webster, T., Place, W., Kammerud, R. and Albrand, P., 1987, Effects of daylighting options on the energy performance of two existing passive commercial buildings, Building and Environment, Vol. 22, No. 1, pp. 3-12.
11. Li, D.H.W. and Lam, J.C., 2001, Evaluation of lighting performance in office buildings with daylighting controls, Energy and Buildings, Vol. 33, No. 8, pp. 793-803.