

자연채광 이용에 따른 조명에너지 평가용  
노모그래프의 개발에 관한 연구  
Development of Lighting Energy Estimation Nomograph  
by using Daylight

정 유 근\*                      김 정 태  
Chung, Yu Gun                Kim, Jeong Tai

경희대학교 대학원 건축공학과  
Dept. of Architectural Eng. Kyung Hee University

ABSTRACT

Lighting is one of the largest energy consumption in commercial buildings. For saving such lighting energy, integrated lighting system with daylight and artificial lighting has been suggested. In such system, perimeter zone can be illuminated by daylighting and the deep area of room by artificial lighting.

So, the study is to develop estimation nomograph of lighting energy by turning-off depth and lighting control systems during daytime. For the purpose, energy nomograph has been developed to apply to side-lit office building and the use and limitation of the nomograph has been discussed.

1. 서    론

우리나라 사무소의 전체 소비전력중 인공조명용 전력사용량은 냉난방이나 공기조화보다 그 비중이 크게 나타나고 있다. 더우기 사무소의 주 사용시간대가 주간인 점을 고려한다면 주광을 적극적으로 이용하여 얻을 수 있는 연간 에너지 절약효과는 매우 큰 것으로 나타나고 있다.

주광을 효과적으로 설계하면 작업자의 쾌적감과 만족감을 적절히 증가시키면서 부수적으로 작업 성능을 향상시키고, 또한 에너지비용도 상대적으로 감소시킬 수 있다. 이때, 주광조도만으로 쾌적한 시환경을 제공할 수 없는 실내부는 인공조명으로 보조함으로써 실내 전반에 쾌적한 시환경을 창조할 수 있다. 주간에 주광을 이용함으로써 얻게 되는 주된 장점은 실내 시환경의 향상, 조명에너지량의 절약, 냉난방부하의 절감 및 최대 냉난방부하의 감소 등을 들 수 있다.

디자인 초기단계에서 주광의 이용에 따른 에너지성능을 평가하기 위해서는 주광이 채광 및 냉난방에 미치는 영향을 종합적으로 평가할 수 있는 주광성능 평가도구가 필요하다. 이러한 평가도구를 개발하기 위해서는 주광에 관련된 모든 변수들이 고려되어야하나, 본 연구에서는 조명에너지량의 절약이라는 측면에서 주간의 인공조명기구의 소등률과 조절방식에 의한 연간 채광에너지 절약률 예측용 노모그래프를 개발하는데 연구목적이 있다.

연구의 진행은 해석적 접근방법에 따라 진행되었고, 주광해석 이론을 근거로 에너지량 평가에 관한 이론식(Robbins, 1986)을 이용하여 조명에너

지 사용량 예측용 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램을 실행시킨 결과를 이용하여 주광의 이용에 따른 연간 조명에너지 절약을 예측용 노모그래프를 개발하였다.

## 2. 조명에너지량의 평가요소

### 2-1. 조명동력량의 계산

조명동력량(lighting power budget; Pr, w/h)이란 단위시간당 인공조명의 에너지사용량을 말하며, 실에서의 조명동력량은 다음과 같다 (Kaufman and Haynes; 1981).

$$Pr = A \times UPD \times RF \times SUF \quad (w/h)$$

여기서, A=실 면적

RF(Room Factor)=실지수

UPD=건물의 용도와 작업형태에 따른 실의 기본적인 단위동력밀도(w/m<sup>2</sup>)

SUF(Space Utilization Factor)=실사용률

실지수 RF는 조명효율에 대해 실 형태가 미치는 영향으로 1.0에서 2.0사이의 값을 지니며 실 바닥면적과 천정높이의 관계에 의해 결정된다. 실이용률 SUF는 실면적에 대한 작업면적의 비율에 따라 결정되는 값으로 0.4에서 1.0사이의 값을 지닌다.

조명동력량은 단위시간에 대한 에너지 사용량이므로, 에너지사용량(Q(n))은 다음과 같다.

$$Q(n) = Pr \times h, \quad h = \text{인공조명의 점등시간}$$

### 2-2. 연간 주광이용률의 계산

주광이용률(DUF)은 전체 작업시간에 대해 주광이 인공조명을 대신하거나 보조할 수 있는 시간의 비율을 말하며, 인공조명 조절방식에 따른 채광 성능을 분석하고 각각의 조절방식에서의 에너지사

용량을 예측하기 위하여 사용된다(Robbins, 1984).

연간 주광이용률의 계산을 위해서, 먼저 임계외부조도를 구하여야 한다. 임계외부조도(Et)란 주광조도가 실 소요조도를 충족시킬 수 있는 최초의 외부조도를 말한다. 임계외부조도는 실 소요조도(Ed)와 실 평균주광률(DF)에 따르며  $Et = 100 \times Ed / DF$ 이다. 임계외부조도값은 각각의 조절방식에 따라 보정되어야 하며, 조절방식에 따른 임계외부조도값의 변환은(표 1)과 같다.

표 1. 임계외부조도값의 변환

	단계 1	단계 2	단계 3	단계 4	단계 5
점 밀	>Et	<Et			
3단계	>Et	>0.50Et	<0.50Et		
4단계	>Et	>0.66Et	>0.34Et	<0.34Et	
5단계	>Et	>0.75Et	>0.50Et	>0.25Et	<0.25Et
연 속	>Et	>PE×Et	<PE×Et		

연간 주광이용률의 계산은 다음과 같다.

$$\cdot (Et < Eco \text{ 일 때}) \quad DUF = D_{max} \times \{ 1 + [ 2Et / Eco \times ( Eco - 2 \times E_{max} ) ] \}$$

$$\cdot (Et > Eco \text{ 일 때}) \quad DUF = [ ( 2 \times D_{max} ) / ( Eco - 2 \times E_{max} ) ] \times ( Et - E_{max} )$$

여기서, Emax = 표준작업년중 최대 외부수평면조도

Dmax=표준작업년중 주광이용률의 최대값

Eco=조명기구의 최소조도와 같은 조도레벨

을 제공할 수 있는 외부조도

청천공에서의 주광이용률(DUFc)과 담천공에서의 주광이용률(DUFo)을 가중평균한 주광이용률(DUFw)은 다음과 같다.

$$DUFw = (DUFc \times \sigma) + [DUFo \times \delta]$$

여기서,  $\sigma$  = 청천공의 비율,  $\delta$  = 담천공의 비율

### 2-3. 주광의 이용에 따른 연간 조명에너지사용량

주광을 이용하는 경우, 앞절에서 계산된 조명

동력량(Pr)은 각각의 조절방식의 주광이용률에 따라 수정된다.

$$Pr(d) = \sum (A') (UPD) (e) (RF) (SUF) (\Delta DUF)$$

여기서, Pr(d)=자연채광을 이용할 때의 조명동력량

e=각 조절방식의 임이의 조절단계에 있어서의 단위동력밀도의 감소치

$\Delta DUF$ =각 조절방식의 조절단계사이의 주광 이용률 값의 차

A'=소등률과 소등깊이에 따라 보정된 인공 조명의 점등면적

표 2. 단위동력밀도의 감소치

	단계 1	단계 2	단계 3	단계 4	단계 5
점멸	0	1.0			
3단계	0	0.50	1.0		
4단계	0	0.34	0.66	1.0	
5단계	0	0.25	0.55	0.75	1.0
연속	0	PP	1.0		
연속+소등	PP	PP	1.0		

PP=최소동력률

일정작업시간 동안의 인공조명 에너지사용량 (Q(d))은 다음과 같다.

$$Q(d) = Pr(d) \times h'$$

여기서, h':소등률과 소등깊이에 따라 보정된 인공

조명의 점등시간;  $h' = A' / A \times h$

주광의 이용에 따른 조명에너지의 절약량은

$\Delta Q = Q(n) - Q(d)$ , 조명에너지의 절약률( $\phi$ )은  $\phi = \Delta Q / Q(n)$ 이된다.

### 3. 조명에너지량 예측용 프로그램 개발

본 프로그램은 인공조명 에너지절약률 예측용 노모그래프 작성시 필요한 자료를 얻기 위하여 개발되었다. 이를 위하여 앞절에서 기술한 이론식을 GWBASIC V3.3을 이용하여 전산화하였다.

프로그램의 개발을 위하여 설정된 표준 사무

실의 평면은 (그림 1)과 같다. 사무실의 평면설정에 있어서는 Ne'eman(1984)에 의해 제안된 통합채광 시스템에서의 창설계를 참고 하였다. 표준 사무실내 인공조명기구의 배치는 창문과 평행하며 균일하게 배치되었으며 색온도 4500° k의 백색형광 램프로 가정하였다.

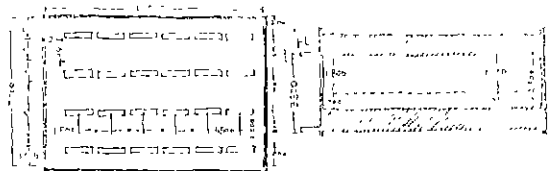


그림 1. 편축상 표준사무실

입력자료는 크게 실관련자료와 외부기상자료로 구분되며 각각 (표 2)와 (표 3)에 나타내었다. 이때, 외부기상자료로는 홍봉재외(1989)의 연구에서 제시된 서울지방의 천공조도값을 이용하였다.

표 2. 외부기상자료

실소요조도	최대수평조도 (E <sub>max</sub> )	주광이용률의 최대값 (De <sub>max</sub> )	E <sub>co</sub>
300, 500, 750 1000 (lux)	75,000 (lux)	0.95	1875 (lux)

표 3. 실관련자료

실길이(L) ×실폭(W)	동력밀도 (URF)	실지수 (RF)	실사용률 (SUR)	작업시간 (0900-1700)
10(m) × 7(m)	18.3(W/m²)	1.11	1.00	2200(h/year)

	천장	벽	바닥	유리
유지율	0.90	0.85	0.70	0.83
반사율	0.80	0.80	0.20	0.17

	차단전달률	직달전달률	유효창면적	계구율
유리	0.83	0.91	0.85	0.95

시뮬레이션의 실행결과 출력되는 자료는 자연채광의 이용여부에 따라 인공조명 조절방식에 따른 조명에너지 사용량이 산출된다. 특히, 실내의 인공조명을 점등하는 점등영역과 소등하는 소등영

표 4. 노모그래프의 구성

실 소요조도	소등률 (%)		실 소요조도	소등률 (%)	
300 lux	A I	0	750 lux	C I	0
	A II	60(X)		C II	60(X)
	A III	70(X)		C III	70(X)
	A IV	80(X)		C IV	80(X)
500 lux	B I	0	1000 lux	D I	0
	B II	60(X)		D II	60(X)
	B III	70(X)		D III	70(X)
	B IV	80(X)			

역 각각의 인공조명 조절방식에 따른 연간 조명에너지 절약률의 예측을 위한 노모그래프를 나타낸다(사용법은 파선으로 표시).

1. 사용법 I (그림 4)

- ① 채광영역의 평균 주광률을 산정하고 조절방식을 가정한다(3단계).
- ② 임계외부조도(I<sub>et</sub>)를 구한다(18000 lux).
- ③ 연간작업시간 (09:00-17:00)에서 주광이용률을 구한다(48%).
- ④ 절약률을 구한다(24%).

2. 사용법 II (그림 5)

- ①-④ 까지의 사용법은 사용법 I과 같다.
- ⑤ 점등영역은 왼쪽, 소등영역은 오른쪽 그래프에서 절약률을 구한다.
- ⑥ 점등영역의 절약률은 22%로 면적에 따라 보정된 절약률은 15%가 된다.
- ⑦ 소등영역에서의 절약률은 88%로 면적에 따라 보정된 절약률은 38%가 된다.
- ⑧ 실 전체의 절약률은 ⑦과 ⑥의 보정된 절약률을 합한 값, 53%가 된다.

본 연구에서 개발한 조명에너지 절약률 예측용 노모그래프의 제한점은 다음과 같다.

- ① 본 계산도표에서 사용한 외부조도는 전천공조도만을 이용하였다. 그러므로 계산도표의 이용시 전천공 조도값만을 사용하여야 한다.
- ② 채광영역의 평균 주광률을 위해 별도의 주광률 예측방법이 필요하다.
- ③ 소등률이 그래프에 해당하지 않는 경우, 보간법을 통해 보정해야 한다.
- ④ 차양 및 외부 방해물의 영향을 고려하지 않았기 때문에 외부 방해물이 심한 건물에서는 별도의 보정이 필요하다.
- ⑤ 전면 유리를 사용하고 실 깊이가 얇은(10m 내외) 편축상 사무실에서 이용가능하다. 만일, 실 깊이가 깊어 여러개의 채광영역으로 구분하여야 하는 경우 별도의 보정이 필요하다.

5. 결 론

본 연구에서는 편축상 표준사무실을 대상으로 주광과 인공광의 통합에 따른 주간의 연간 조명에너지 절약률을 인공조명기구의 소등률과 조절방식에 따라 예측할 수 있는 노모그래프를 개발하고 그 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 변수간의 상관관계 분석을 통해 임의의 인공조명 조절방식에서의 조명에너지 절약률을 설명하기에 적합한 변인은 평균주광률(DFa), 임계외부조도(I<sub>et</sub>)의 최소값, 주광이용률의 최대값으로 나타났다.
- ② 실내를 여러 채광영역으로 구분하는 경우 각 영역의 채광면적에 따라 절약률을 보정하여야 하며, 본 연구에서는 인공조명기구의 소등률에 따라 실내를 점등영역과 소등영역으로 구분하고 각각의 면적에 따라 보정된 절약률을 합하여 실

역으로 실물 2개의 채광영역으로 구분하는 경우 소등율에 따라 변화하는 각각의 채광영역에서의 조명 에너지 사용량과 이를 채광면적에 따라 보정한 실 전체의 조명에너지 절약률을 산출할 수 있다.

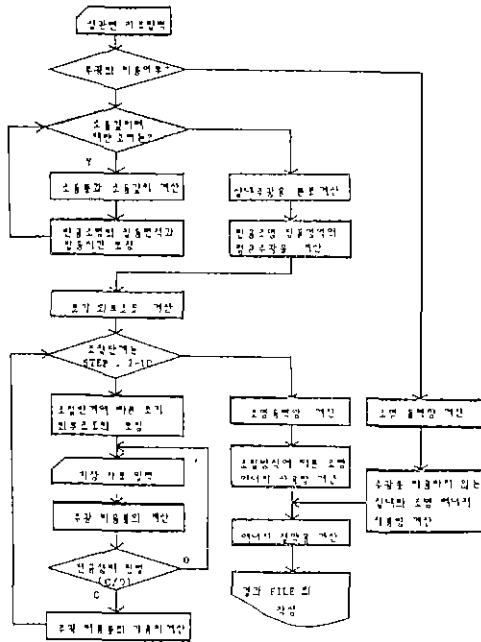


그림 2. 프로그램의 흐름도

#### 4. 조명에너지량 예측용 노모그래프의 개발

주광을 실내 조명원으로 사용하는 경우 인공조명의 소등깊이는 실 소요조도에 따른 다양한 소등율에 따라 변화하게 된다. 임의의 소요조도에서 소등율과 소등깊이의 관계는 (그림 3)과 같다.

실의 조명에너지 사용량에 영향을 미치는 주요변수는 인공조명 조절방식, 외부기상조건, 실 소요조도, 실내주광률 등이다. 본 연구에서는 이들 변수들을 다양하게 변화시킴에 따른 조명에너지 사용량의 변화패턴을 규명하고 궁극적으로는 조명에너지 사용량 예측용 노모그래프를 작성하기 위하여

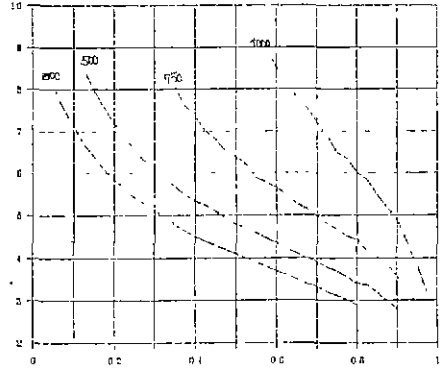


그림 3. 소등율과 소등깊이의 관계

다음과 같은 두가지 큰 범주로 나누어 프로그램을 실행시켰다.

① 실행 1 : 실내부분 하나의 채광영역으로 가정하고 주광율 및 조절방식을 변화시켜 에너지사용량을 계산하였다.

② 실행 2 : 실내를 소등율에 따라 인공조명 소등영역과 점등영역으로 구분하여 각각의 영역에서의 조절방식에 따른 에너지사용량을 계산하고 그후 전체 에너지사용량을 계산하였다.

프로그램을 실행시킨 결과를 SPSS PC\*를 이용하여 변수들간의 상관계수를 분석하여 서로 상관관계가 높고 에너지절약률과 관계가 깊은 3쌍의 주요변인을 추출하였다. ①채광영역의 평균 주광률과 임계외부조도, ②임계외부조도와 주광이용률, ③주광이용률과 절약률

노모그래프는 소요조도에 따라 4개의 그룹으로 구성되며, 각각의 그룹은 소등율의 변화에 따라 4개의 노모그래프로 구성된다. (표 4)는 노모그래프의 구성을 나타낸다. 채광영역을 구분시, 각각의 채광면적에 따라 절약률을 보정하였다.

(그림 4)는 실 소요조도 750lux 에서 실전체를 하나의 채광영역으로 설정한 경우, (그림 5)는 소등율을 60%로 가정한 경우의 소등영역과 점등영역

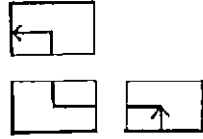
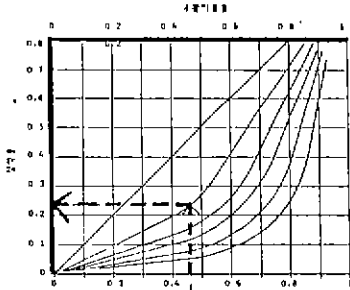


그림 4. 예측용 노모그래프  
(소요조도 750lux, 소등률=0)

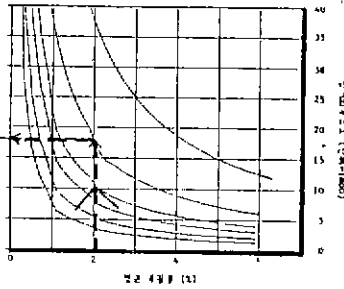
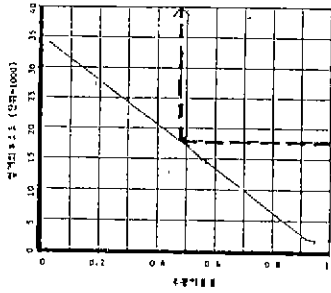
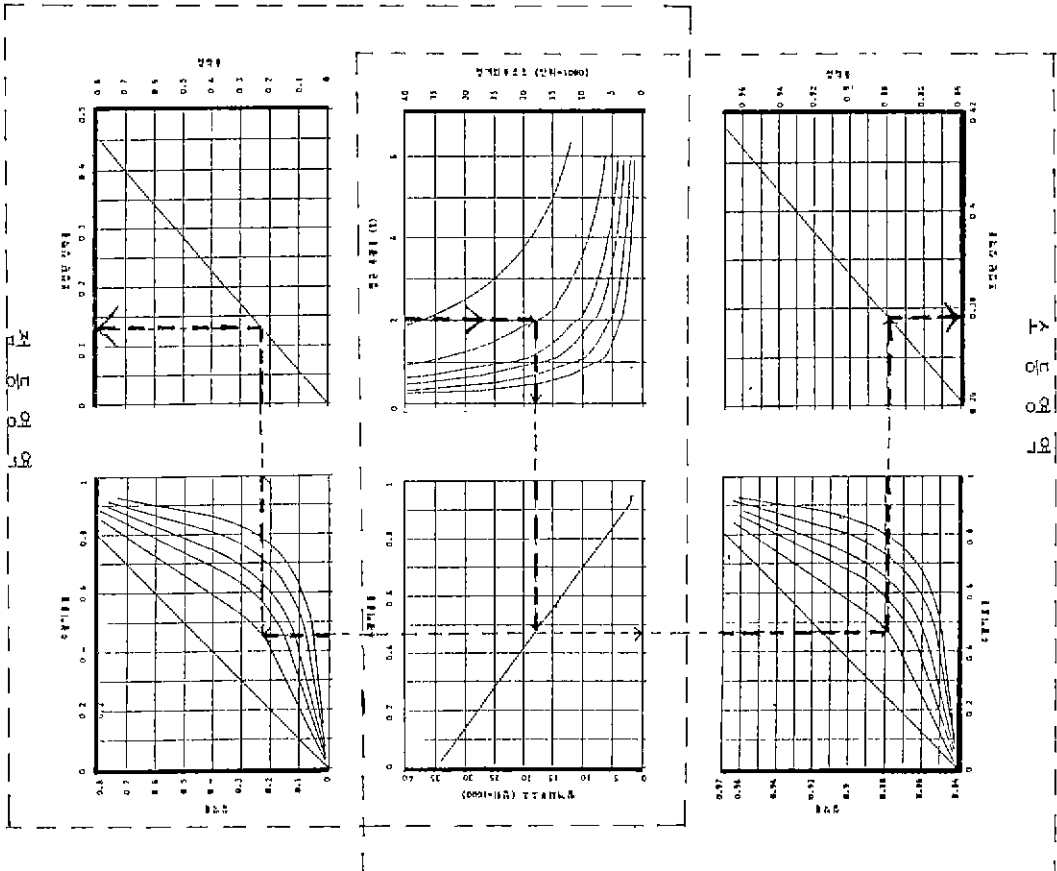


그림 5. 예측용 노모그래프  
(소요조도 750lux, 소등률=60%)



전체의 에너지절약률을 계산하였다.

- ③ 실을 소등률에 따라 두개의 채광영역으로 나누어 조명설계를 하는 경우, 실 전체를 하나의 채광영역으로 설계하는 것보다 10-35% 정도의 절약률이 상승되었다. 그러므로, 실의 조명설계는 먼저 소등률에 따라 실을 두개의 채광영역으로 나누고 각각의 조절방식에서의 인공조명 조절방식을 선택하는 것이 에너지절약에 유리하다.
- ④ 인공조명 조절방식에 따른 절약률의 변화는 점등영역에서 ON/OFF 조절방식에서 3-step으로 변화할 때 가장 크게 나타하며, 그후 조절단계에 따른 변화폭은 차차 감소하게 된다. 실질적으로 5-step 이상의 조절단계에서 변화폭은 매우 작게 나타나고 있으며, 이는 설정된 채광영역의 크기에 기인하는 것으로 실의 크기가 증가할 경우 그 변화폭 또한 증가할 것으로 생각된다.

### 후 기

이 연구는 1989-90년도 동력자원부에서 시행한 대체에너지 개발사업의 연구기금에 의해 수행된 과제임을 밝히며 감사의 뜻을 전합니다.

### 참 고 문 헌

- ① 김정태, "건축조명(4): 자연채광 디자인 도구로서의 에너지 노모그래프", 대한건축사협회지, 제 206호, 1986.5.
- ② 김정태, "자연채광에 의한 건물의 에너지절약 기법", 대한건축학회지, 제40권 4호, 통권131호 1986.7.
- ③ 김정태, "에너지절약을 위한 건축물의 자연채광 디자인 방법에 관한연구(I)", 한국조명·전기설비 학회지, 3권, 2호, pp.56-62, 1989.6
- ④ 정유근·김정태, "주간의 주광과 인공광의 통

합에 따른 조명에너지의 평가방법", 대한건축학회 학술발표논문집, 10권, 1호, pp.299-302, 1990.4

- ⑤ 홍봉재외, "서울지방의 외부수평면 조도의 특성에 관한 연구", 대한건축학회 추계학술발표논문집, 1989. 10.
- ⑥ Kaufman, J.E. and Haynes, H., "IES lighting handbook", Illuminating Engineering Society, New York, 1981.
- ⑦ Matsuura, K. and Tanaka, H., "Optimum Turning-off Depth for Saving Lighting Energy in side-lit Office", Journal of light and Visual Environment, Vol. 3, No. 2, 1979.
- ⑧ Ne'eman, E., "A comprehensive approach to the integration of daylight and electric light in building", Energy and Build., No.6, 1984.
- ⑨ Robbins, C. L., "Daylighting: Design and Analysis", Van Nostrand Reinhold Company, 1986
- ⑩ Robbins, C. L., "A Method for Predicting Energy Savings Attributed to Daylighting", Solar Energy Research Institute, 1984