

RADIANCE 프로그램을 이용한 오피스 건축물에서의 에너지 절감을 예측을 위한 BIN Method 검토

홍성관*, 박병철**, 최안섭***, 이정호****

*세종대학교 대학원 건축공학과(skhong0710@gmail.com),

**세종대학교 대학원 건축공학과(iron401p@hotmail.com),

***세종대학교 건축공학과 교수(aschoi@sejong.ac.kr),

****삼성건설 기술연구소(jh.ls.lee@samsung.com)

Assessment of BIN Method to Predict Energy Saving in Office Building Using the RADIANCE Program

Hong, Seong-Kwan*, Park, Byoung-Chul**, Choi, An-Seop***, Lee, Jeong-Ho****

*Dept. of Architectural Eng., Graduate School, Sejong University(skhong0710@gmail.com),

**Dept. of Architectural Eng., Graduate School, Sejong University(iron401p@hotmail.com),

***Professor, Dept. of Architectural Eng., Sejong University(aschoi@sejong.ac.kr)

****Samsung Engineering & Construction(jh.ls.lee@samsung.com)

Abstract

Daylight is an important component for human and energy saving. Also, available daylight in inside provides positive influence on psychological and physiological aspects as well as good visual environment. It is important to lighting design for office building not only designing for artificial lighting but also using daylight for energy savings. Therefore, lighting designers and architectures must consider the effects of the daylight for human environment and energy savings. The BIN Method is one of the methods to predict energy savings using computer simulation but it spends more time than expectation. So, this study performs to simulate a simple space using the RADIANCE for examination and simplification of the BIN Method.

Keywords : 주광(Daylight), BIN법(BIN Method), 에너지절약(Energy saving), 오피스 건축물(Office building), RADIANCE 프로그램(RADIANCE program)

1. 서 론

최근 국제 유가의 급등이 이어지면서 중동 산 두바이유의 가격이 100달러에 육박하는 등

제3의 석유파동이 우려되고 있는 실정이다.1) 우리나라의 1차 에너지 소비량이 세계 10위에 위치하고 있는 것을 감안할 때 에너지 절약에

1) 한국석유공사, 2008.3

대한 중요성이 보다 부각되어야 한다.²⁾

서울시에서는 2007년 8월 ‘친환경·에너지 건축물 설계 가이드라인’을 마련한 것에 이어 신축 민간 건축물에 대한 ‘에너지절감 권고안’을 마련하는 등 에너지절감 수준에 따라 다양한 인센티브를 부여하는 방안을 적극 고려하고 있다. ‘에너지절감 권고안’에는 건물 내 자연채광 시스템과 태양광발전 시스템 설치에 대한 내용이 포함되어 있어 건축물에서의 주광 유입에 관한 관심이 높아졌음을 알 수 있다.

본 연구에서는 조명시뮬레이션 소프트웨어인 RADIANCE를 이용하여 주광 유입량의 예측을 통해 에너지 절감율을 산출하였다. 에너지 절감율 예측에 있어서 샘플링을 통한 예측 방법의 단순화를 시도하여 데이터 분석의 시간을 단축하고자 했다.

2. 이론고찰

2.1 주광의 유용성

주광은 빛의 질적인 측면뿐만 아니라 심리·생리적인 측면에서도 우수한 광원이다. 오피스에서 주광의 유입에 따른 시각적 편안함에 관한 연구에 의하면, 오피스 사용자의 75%가 인공조명보다 주광을 선호하였으며 94%는 창문이 오피스에서 중요한 요소라고 하였다.³⁾ 오피스에서의 시 환경에 있어서 중요한 요소가 창문으로부터의 거리이다. 오피스 사용자에게 인공조명을 직접 제어하게 한 연구에 의하면, 창문에 가까운 사용자일수록 주광을 활용하는 것으로 나타났다.⁴⁾ 이러한 결과는 주광의 활용을 통해 조명용 에너지 절약을 극대화 시킬 수 있음을 말한다.

2) IEA, 2007 key world energy statistics(2005년 기준)

3) W.K. Osterhaus, Discomfort glare from daylight in computer offices: What do we really know? in: Proceedings of the 9th European Lighting Conference (Lux Europa), Reykjavik, Iceland, pp.448-456, 2001

4) C. Laurentin, V. Berrutto, M. Fontoynt, P. Girault, Manual control of artificial lighting in a daylit space, in: 3rd International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conversation in Buildings, Lyon, France, pp.175-180, 1998

2.2 BIN Method

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.⁵⁾

본 연구에서는 BIN Method를 주광유입에 따른 조명용 에너지 절감율의 예측방법으로 활용하며, 매월의 대표일을 기준으로 청천공, 부분담천공, 담천공의 천공별 에너지 절감율을 산출하고 매월의 천공별 평균일수를 곱하여 연간에너지 절감율을 예측하고자 한다. 시뮬레이션 분석에서 BIN Method의 단순화를 위한 방법으로 4절기법⁶⁾을 제안하며 4절기법은 BIN Method에서 매월의 대표일을 기준으로 하는 방법을 4절기로 단순화하여 춘분/하지/추분/동지를 기준으로 한다.

2.3 RADIANCE

RADIANCE는 미국 LBNL(Lawrence Berkeley National Laboratory)에서 개발한 조명시뮬레이션 소프트웨어이다. 빛의 거동을 물리적으로 시뮬레이션한 결과로부터 조도 및 휘도 분포를 계산하고 가시화하여 주므로 빛 환경의 정량적, 정성적 평가가 모두 가능한 장점을 가지고 있다.⁷⁾ 본 연구에서는 Linux(OS)를 기반으로 한 RADIANCE 프로그램을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

3. 시뮬레이션 개요 및 방법

3.1 시뮬레이션 개요

본 연구는 향후 Mock-up실험과의 데이터 비교를 위하여 일반오피스의 1:2 scale로 모

5) 이변국, 김정태, 수정빈법을 이용한 냉난방부하 예측 프로그램 개발

6) BIN Method가 1월~12월 매달의 대표일을 기준으로 하는 반면, 4절기법은 3월/6월/9월/12월 대표일을 기준으로 하여 절감율을 계산한다.

7) 송규동, 김지현, 최안섭, RADIANCE 프로그램과 인터넷 환경을 이용한 조명시뮬레이션 시스템 개발

모델링하였다. 공간의 크기는 2870 × 1510 × 1640 (창측) / 1570 (창측 반대) (mm)이며 작업면의 높이는 375mm로 설정하였다. 또한 창 크기는 1290 × 1215 (mm)이며 실내 반사율은 천장과 벽 반사율 $\rho=0.84$, 바닥 반사율 $\rho=0.26$, 조도센서받침 반사율 $\rho=0.08$, 걸레받이 반사율 $\rho=0.12$ 로 하였으며 조도센서는 작업면 높이의 H형 프레임 7곳에 위치하였다(그림 1).

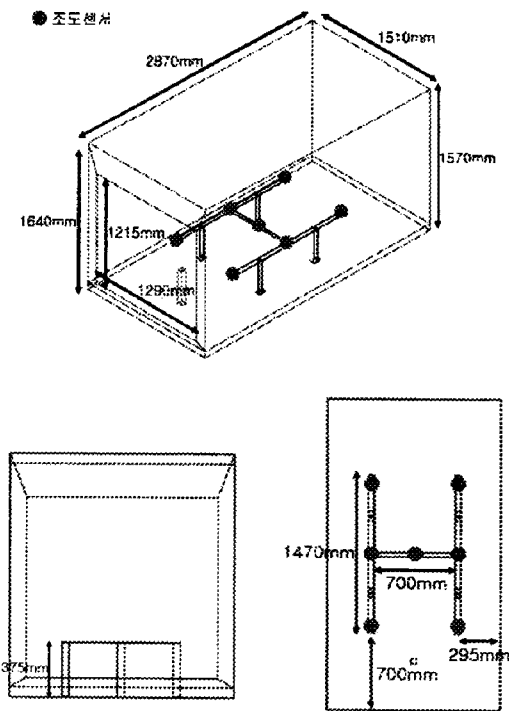


그림 1. 시뮬레이션 3D모델링 및 입면도, 평면도

3.2 시뮬레이션 방법

RADIANCE를 활용한 조명용 에너지 절감을 예측 시뮬레이션을 하는 방법은 다음과 같다.

- (1) Autocad 2002를 이용하여 실험실을 모델링 하고, 변환파일인 torad를 사용하여 *.rad 파일로 각 레이어를 변환한다.
- (2) 변환된 *.rad 파일에 분광색차계⁸⁾를 이용하여 측정한 각 반사율을 적용한다.

- (3) Gensky 명령어를 이용한 천공별 rad 파일을 생성한다.
- (4) RADIANCE 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 실행, 에너지 절감율을 예측한다.

4. RADIANCE 프로그램을 이용한 에너지 절감율 예측

4.1 천공일수

본 연구에서는 최근 6년간(2001~2006년)의 데이터를 평균으로 하여 천공일수를 도출하였다.⁹⁾ 다음 표 1과 2는 월평균(1월~12월) 천공일수와 절기별 평균 천공일수를 나타낸 것이다.

표 1. 월평균(1월~12월) 천공일수(일)

	청천공	부분 담천공	담천공
1월	16.0	9.2	5.8
2월	12.8	9.8	5.5
3월	11.7	12.5	6.8
4월	11.7	9.8	8.5
5월	11.2	9.8	10.0
6월	6.7	9.5	13.8
7월	2.2	8.0	20.8
8월	4.8	10.0	16.2
9월	8.8	11.7	9.5
10월	16.5	10.2	4.3
11월	14.2	9.8	6.0
12월	15.7	11.3	4.0
연간	132.2	121.7	111.3

표 2. 절기별 평균 천공일수(일)

	청천공	부분 담천공	담천공
춘분 (2-4월)	36.2	32.2	20.8
하지 (5-7월)	20.0	27.3	44.7
추분 (8-10월)	30.2	31.8	30.0
동지 (11-1월)	45.8	30.3	15.8

8) Spectrophotometer Minolta CM-2500d

9) 기상청 홈페이지 <http://www.kma.go.kr>

4.2 각 국의 오피스 권장 조도 기준

다음 표 3은 20개국의 오피스 권장 조도 기준¹⁰⁾이며 오피스 공간에서의 적정 조도기준은 평균적으로 500lx가 적당함을 알 수 있다. 본 연구에서는 이를 기준으로 주광의 유입량에 대한 기준조도를 500lx로 하여 절감율을 예측하였으며 500lx가 넘는 경우는 절감율을 100%로 하여 분석하였다.

표 3. 각 국의 오피스 권장조도(lx)

국가	일반	VDT
호주	160	160
오스트리아	500	500
벨기에	300-750	500
브라질	750-1000	-
캐나다	200-300-500	300
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

4.3 평균 절감율 분석

본 연구에서의 시뮬레이션 분석은 출퇴근 시간을 고려하여 오전 8시부터 오후 7시까지의 데이터를 사용하였으며 주광이 영향을 미치지 않는 데이터는 제외하였다. 평균 절감율을 계산하는 식(1)은 다음과 같다.

$$\cdot \text{평균 절감율} = \frac{\sum (\text{천공별 하루 평균 절감율} \times \text{천공별 천공일수})}{\sum \text{천공일수}} \quad (1)$$

10) Peter R. Boyce, Human factors in lighting 2nd edition, Lighting Research Center, pp.227

4.4 월평균 절감율

월평균 절감율은 3월 21일의 데이터와 3월 1일~3월 31일의 데이터를 비교분석하였다. 이는 BIN Method에서 대표일을 이용한 방법이 타당한지 검토하는 방법이다.

(1) 3월 21일 기준 평균 절감율

3월 21일(춘분)의 천공별 평균 절감율은 다음 표 4와 같다. 청천공의 평균 절감율이 높은 반면 부분 담천공, 담천공 순으로 낮은 평균 절감율을 나타낸다. 특히, 담천공은 청천공과 부분 담천공에 비해 상대적으로 낮은 절감율을 나타냈다.

표 4. 천공별 3월 21일(춘분) 평균 절감율(%)

3월 21일	청천공	부분 담천공	담천공
	96	91	78

3월 21일의 천공별 평균 절감율에 3월 천공별 천공 일수를 곱하여 3월 21일을 기준으로 한 3월 평균 절감율은 90.1%로 나타났다(표 5).

표 5. 3월 21일 기준 3월 평균 절감율(%)

3월 평균 절감율	90.1
-----------	------

(2) 3월 1일~3월 31일 기준 평균 절감율

3월 1일~31일(한달)의 천공별 3월 평균 절감율과 일평균 절감율은 다음 표 6과 같다. 월초에서 월말로 갈수록 천공별 평균 절감율이 소폭 상승하는 것으로 나타났으며 이에 따라 천공일수를 고려한 일평균 절감율의 경우도 월초에서 월말로 갈수록 소폭 상승하였다.

표 6. 천공별 3월 평균 절감율(%)

3월	청천공	부분 담천공	담천공	일평균 절감율
1일	94	87	70	86
2일	94	87	71	86
3일	95	87	71	86
4일	95	87	72	87

5일	95	88	72	87
6일	95	88	73	87
7일	95	88	73	87
8일	95	88	73	88
9일	95	89	74	88
10일	95	89	74	88
11일	95	89	74	88
12일	95	89	75	88
13일	95	90	75	89
14일	95	90	76	89
15일	96	90	76	89
16일	96	90	76	89
17일	96	90	77	89
18일	96	91	77	90
19일	96	91	77	90
20일	96	91	78	90
21일	96	91	78	90
22일	96	91	78	90
23일	96	92	79	90
24일	96	92	79	91
25일	96	92	79	91
26일	96	92	79	91
27일	96	92	80	91
28일	96	92	80	91
29일	96	93	80	91
30일	96	93	80	92
31일	96	93	81	92

천공일수를 고려하여 3월 1일~31일까지 3월 한달 동안의 평균 절감율을 분석한 결과, 3월 한달을 기준으로 한 3월 평균 절감율은 표 7과 같이 89.0%로 나타났다. 이는 표 5의 3월 21일(춘분)기준 3월 평균 절감율 90.1%와 거의 유사하였다. 이는 BIN Method에서 대표일을 이용한 방법이 타당함을 나타내는 연구결과이다.

표 7. 3월 한달 기준 3월 평균 절감율(%)

3월 평균 절감율	89.0
-----------	------

4.5 연평균 절감율

연평균 절감율은 3월/6월/9월/12월 21일(춘하추동)의 데이터(4절기법)와 1월 21~12월 21일(매월)의 데이터(BIN Method)를 비교분석하였다. 본 연구는 방대한 자료의 양을 단순화하기 위하여 연평균 절감율을 예측하는

데 사용되는 BIN Method를 4절기법으로 단순화하기 위한 연구이다.

(1) 3월/6월/9월/12월 21일 기준 평균 절감율
3월/6월/9월/12월 21일(춘하추동)의 천공별 평균 절감율과 일평균 절감율은 다음 표 8과 같다. 춘분, 하지, 추분의 천공별 평균 절감율은 비슷한 반면, 동지의 천공별 평균 절감율은 낮았으며 특히 동지의 담천공에서의 평균 절감율은 58%로 매우 낮았다. 천공일수를 고려한 일평균 절감율의 경우도 춘분, 하지, 추분은 비슷한 반면, 동지는 낮게 나타났다.

표 8. 천공별 춘하추동 평균 절감율(%)

	청천공	부분 담천공	담천공	일평균 절감율
춘분	100	98	86	96
하지	100	92	95	95
추분	99	98	86	94
동지	96	84	58	86

천공별 일평균 절감율에 천공일수를 고려하여 춘하추동을 기준으로 한 연평균 절감율은 92.7%로 나타났다(표 9).

표 9. 춘하추동 기준 연평균 절감율(%)

연평균 절감율	92.7
---------	------

(2) 1월 21일~12월 21일 기준 평균 절감율
1월 21일~12월 21일(매달)의 천공별 평균 절감율과 일평균 절감율은 다음 표 10과 같다. 1, 12월에 비해 6, 7월의 평균 절감율이 상대적으로 높음을 알 수 있다.

표 10. 천공별 매달 평균 절감율(%)

	청천공	부분 담천공	담천공	일평균 절감율
1월	98	89	65	89
2월	99	96	78	94
3월	100	98	86	96
4월	100	99	91	97
5월	100	95	94	97
6월	100	92	95	95
7월	100	95	94	95

8월	100	99	92	95
9월	99	98	86	94
10월	98	93	76	93
11월	96	87	63	86
12월	96	84	58	87

천공일수를 고려하고 매달의 평균 절감율을 평균내어 나타낸 연평균 절감율은 93.2%로 나타났다(표 11). 춘하추동 기준 연평균 절감율(표 9)과 비교하여 0.5%의 오차를 나타냈다. 이는 BIN Method의 단순화를 위한 4절기법이 타당함을 나타내는 연구결과이다.

표 11. 매달 21일 기준 연평균 절감율(%)

연평균 절감율	93.2
---------	------

5. 결론

본 연구는 인공조명을 배제하고 주광의 유입만을 고려하여 에너지의 평균 절감율을 계산하였다. BIN Method의 검토를 목적으로 한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) 월평균 절감율 : 월평균 절감율은 BIN Method에서 대표일을 이용한 한달의 에너지 절감율 예측에 대한 검토이다. 실험 결과, 3월 21일 기준의 월평균 절감율과 3월 1일~31일 기준의 월평균 절감율이 각각 90.1%와 89.0%를 나타냈다.
- (2) 연평균 절감율 : 연평균 절감율은 BIN Method로 데이터를 분석할 때의 시뮬레이션 시간을 최소화하고자 4절기법의 타당성을 알아보기 위한 분석이었다. 분석 결과, 4절기법의 연평균 절감율과 BIN Method의 연평균 절감율은 각각 92.7%와 93.2%를 나타냈다.
- (3) 월평균 절감율과 연평균 절감율의 오차는 각각 1.1%와 0.5%로 나타났다. 이 결과는 BIN Method의 대표일을 이용한 방법이 타당함을 나타내며 BIN Method를 이용하여 에너지 절감율 계산을 4절기법으로 계산하여 단순화할 수 있음을 나타낸다.

본 연구의 한계는 데이터 분석에 있어서 365일 24시간의 데이터가 아닌 한정된 데이터라는 점에 있다. 향후 더 많은 시뮬레이션을 통해 보다 정확성 있는 연구가 필요할 것이다. 본 연구의 결과는 에너지 절감율을 계산하는 방법의 단순화를 가능케 할 것이다.

후 기

본 연구는 삼성건설의 연구비 지원에 의한 연구결과의 일부이며, 저자의 일부는 2단계 BK21의 장학금 지원을 받았음.

참 고 문 헌

1. 한국석유공사, 2008.3
2. IEA, 2007 key world energy statistics
3. W.K. Osterhaus, Discomfort glare from daylight in computer offices: What do we really know?, Proceedings of the 9th European Lighting Conference (Lux Europa), Reykjavik, Iceland, pp.448-456, 2001
4. C. Laurentin et al., Manual control of artificial lighting in a daylit space, 3rd International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conversation in Buildings, Lyon, France, pp.175-180, 1998
5. 이면극, 김정태, 수정빈법을 이용한 냉난방부하 예측 프로그램 개발, 한국태양에너지학회 논문집, 21권, 4호, pp.21-28, 2001
6. 송규동, 김지원, 최안섭, RADIANCE 프로그램과 인터넷 환경을 이용한 조명시뮬레이션 시스템 개발, 대한건축학회 논문집, 19권, 4호, pp. 179-186, 2003
7. <http://www.kma.go.kr>
8. Peter R. Boyce, Human factors in lighting, 2nd edition, Lighting Research Center, pp.227, 2003