

RADIANCE 프로그램에 의한 창문 블라인드의 투과율 분석 연구

(Analysis of Window Transmittance Using Horizontal Blind by RADIANCE Program)

정근영* · 최안섭

(Keun - Young Jeong · An - Seop Choi)

요 약

본 연구는 RADIANCE 프로그램을 이용하여 블라인드가 설치된 창문의 투과율을 휘도계산을 통해 결정하고자 한다. 천공의 종류, 계절의 변화, 태양의 고도 및 방위각의 변화, 블라인드의 각도 0°, 45°, 90° 등을 매개변수로 고려하였고, 시뮬레이션에 의한 블라인드 투과율은 블라인드 방향성 등의 특성에 따라 다양한 결과로 나타났다. 이러한 결과를 조명계산과 광센서 조광제어시스템의 분석 도구로 사용될 수 있는 프로그램인 DayDim에 적용할 수 있는 방법론을 제시하였다.

Abstract

The purpose of this simulation study is to determine the window transmittance by RADIANCE lighting simulation tool where the horizontal blind is installed. Parameters such as sky types, seasonal changes, altitude, azimuth, and horizontal blind angle at a 0°, 45°, 90° were considered. The simulation results present that measured directional transmittances have different values according to each directional property of the horizontal blind. In addition, methodology was described to apply window transmittance data to DayDim program which is a lighting calculation and analysis tool especially for the performance of daylight responsive dimming systems.

Key Words : Window transmittance, Blind, RADIANCE, DayDim, Lighting simulation

1. 서 론

1.1 연구 배경

대부분의 상업빌딩은 실내를 조명할 때 인공조명

에 의존하고 있다. 일반적인 대규모 상업빌딩의 조명 에너지 부하는 약 30~50%정도를 차지는데, 이렇게 높은 비율의 조명용 전기에너지 소비는 에너지 고갈, 환경오염 등의 원인이 되고 있고, 이로 인해 전기 에너지 소비량 절감에 대한 관심이 높아지고 있다. 그래서 건축분야에서는 조명용 에너지 절감의 방법으로 건축적 기법과 설비적 기법을 이용하여 주광의 이용에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 주광을 이용하면 상당한 실내조명 에너지 부하를 절감시킬 수 있으며, 실내 환경의 질을 향상시킬 수 있다.

* 주저자 : 세종대학교 건축공학부
Tel : 02-3408-3761, Fax : 02-3408-3331
E-mail : aschoi@sejong.ac.kr
접수일자 : 2003년 5월 22일
1차심사 : 2003년 6월 4일
심사완료 : 2003년 9월 4일

여러 기법 중 광센서를 이용하여 인공조명을 줄여주는 방법인 광센서 조광제어시스템이 개발되었으며, 이에 관한 연구결과 약 30~60% 정도의 조명용 에너지를 절감할 수 있다는 결과가 나와 있다[1].

광센서 조광제어시스템이 실행될 때 가장 큰 영향을 미치는 것은 직사일광이다. 일정하지 않게 실내로 입사되는 직사일광의 방향적 분포는 시간, 방향, 천공 상태에 따라 계속적으로 변화하는데 이러한 현상은 재실자에게 현휘 등의 불쾌감을 줄 뿐만 아니라 광센서가 주광의 양을 측정하는데 있어서 정확하지 않은 측정값을 나타내는 주요한 원인이 되고 있다.

이러한 현상을 방지하기 위해서 일반 사무소에서는 주로 수평 블라인드를 사용한다. 현재까지 블라인드가 실내의 조도분포에 미치는 영향을 실험과 시뮬레이션을 통하여 분석한 몇몇 연구가 있었다[2~5].

1.2 연구의 목적

현재 국내·외에서는 시뮬레이션을 통하여 광센서 조광제어시스템 실행의 정확성을 판단[2,3,9]하는 도구로서 DayDim[6]을 많이 이용하고 있다. 그 이유는 기존의 상용 소프트웨어들은 실내로 입사되는 주광의 양을 측정하는 광센서를 모델링 할 수 없었지만 DayDim은 광센서의 모델링이 가능하며 다른 여러 가지 변수들(위치적 정보, 계절, 천공상태, 방위각, 조도측정위치 등)을 적용하여 실제의 광센서 시그널 값을 알 수 있으며, 정확한 실내조도계산을 실행할 수 있다. 그러나 변수로서 블라인드에 의한 주광의 영향(투과율)을 고려할 수는 없다. 현재 다른 시뮬레이션 도구도 블라인드에 의한 주광의 영향을 정확하게 파악하지 못하고 있는 실정이다.

현재 광센서 조광제어시스템의 시뮬레이션 연구에 이용되는 대부분의 투과율은 버클리 대학의 Klems가 고니어레이도미터(Gonioradiometer)를 이용하여 측정한 투과율을 사용하고 있다. 그러나 이 투과율은 태양고도와 방위각을 고려하지 않은 값으로 시간 및 계절에 따라 변화하는 천공의 특성을 고려하지 않은 한계성을 가지고 있다. 실험에 의한 방법으로는 블라인드가 설치된 유리창의 내·외부에 두 개의 조도계를 설치하여 같은 시간에 측정하고

두 조도값을 나누어 줌으로써 투과율을 결정하였다. 그러나 DayDim에서는 조도를 계산할 때 각도가 변수가 되어 계산을 하게 되는데 조도계로 측정한 값은 각도를 알 수 없기 때문에 DayDim에는 적용시키기 어렵다.

본 연구에 앞서, 휘도계를 통해 투과율을 측정하여 DayDim의 블라인드 투과율로 적용하고자 하였으나, 시시각각 변화하는 천공의 상태 때문에 객관적인 데이터를 확보할 수가 없었다. 그래서 본 연구에서는 블라인드에 의한 투과율을 결정하기 위해서 정확한 가시화 및 데이터화가 가능한 RADIANCE 프로그램[7]을 이용하였다. 시시각각 변화하는 천공의 상태와 블라인드 각도에 따른 투과율을 결정하여 광센서 조광제어시스템의 정확한 실행 연구를 위한 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

1.3 RADIANCE 소개

RADIANCE 프로그램은 미국 Lawrence Berkeley Laboratory(LBL)에서 개발된 프로그램으로 조도 계산, 이미지 프로세스, 시각화 등이 가능한 조명 렌더링 시뮬레이션 프로그램이다. 초기의 이 프로그램은 조명 디자인의 렌더링을 목적으로 개발되었으나 수년이 지난 현재에는 기존보다 더욱 다양하고 정교한 조명 시각 시스템으로 발전하였다. RADIANCE은 다른 시뮬레이션 도구와 차별화되어 정확한 수치적 결과와 사진과 같은 렌더링이 가능한 프로그램이다[8].

현재는 개인 PC의 window 환경에서도 사용할 수 있도록 Desktop RADIANCE Version이 개발되어 일반인이 쉽게 접근할 수 있도록 개발된 상태이다.

2. 본 문

2.1 시뮬레이션 공간

본 연구를 위한 시뮬레이션은 소형 사무소의 실제 크기에서 실행되었다. 공간의 크기는 7.2[m] × 5.4[m] × 2.7[m]이며, 작업면의 높이는 0.75[m] 이다 (그림 1).

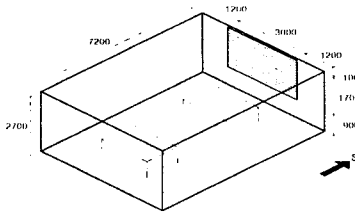


그림 1. 시뮬레이션을 위한 대상 공간
Fig. 1. Layout of the room used in this study

투과율을 계산하는데 있어서 주광의 영향만을 고려하기 위해서 인공조명은 고려하지 않았으며, 실내 반사율은 천장 $p=0.90$, 벽 $p=0.78$, 바닥 $p=0.45$ 를 적용하였다. 또한 창문에는 투명유리를 사용하고, 투과율은 $\tau=0.88$, 반사율은 $p=0.08$ 이 적용되었다. 그리고 위치적 정보는 서울의 위도(37.34°)와 경도(127.5°), 기준 경도(135°)를 고려하였으며, 창문은 자세한 투과율의 정보를 얻기 위해서 4개의 요소로 나누어 계산하였다(그림 2).

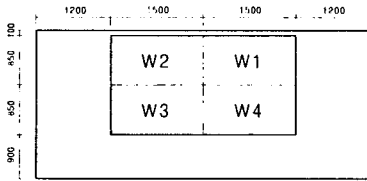


그림 2. 창문을 4개로 분할(입면)
Fig. 2. Four elements(Elevation) in the window

투과율의 계산은 수직각과 수평각으로 각각 나누어 진행하였는데 수직각은 $0^\circ \sim 90^\circ$ 까지, 수평각은 $0^\circ \sim 360^\circ$ 까지 각 15° 마다 블라인드가 있을 때와 없을 때를 구분하여 휘도를 계산하고 각각의 결과들을 나눈으로써 투과율을 구하였다(그림 3).

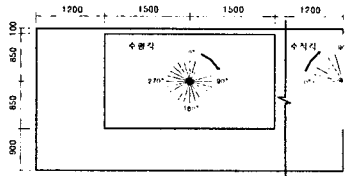


그림 3. 계산에 적용된 수직각과 수평각(입면&단면)
Fig. 3. Vertical and horizontal angle applied to simulation(Elevation&Section)

2.2 시뮬레이션 변수

시뮬레이션에 적용된 변수로서의 천공상태는 선행된 연구[9]에서 나타났듯이 부분 담천공과 담천공에서는 광센서 조광제어시스템의 실행이 비교적 정확한 것으로 나타났기 때문에 본 연구에서는 청천공만 고려하였으며, 시뮬레이션 공간의 방향은 주광의 영향이 가장 많은 남향을 고려하였다.

시뮬레이션 시간은 9시, 12시, 15시를 고려하여 태양의 고도와 방위각에 따른 영향을 살펴보았으며 블라인드의 각도는 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ 세 가지로 나누어 시뮬레이션을 실행하였다(표 1). 현재 사무실에서 가장 많이 적용되는 블라인드를 선택하여 한 가지 사양만을 고려하였고, RADIANCE를 통해 블라인드를 모델링하였다.

표 1. 시뮬레이션에 적용된 변수
Table 1. Parameters used in simulation

건물입면방위각	0° (남향)
계절	하지(6/21), 춘추분(9/23), 동지(12/22)
시간	9시 12시 15시
천공상태	청천공
블라인드각도	$0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$

2.3 시뮬레이션 과정

시뮬레이션 과정의 첫 단계는 사무소 공간의 모델링으로 크기와 실내 벽 및 창문 등에 반사율 및 투과율을 적용한다. 그리고 현재 위치의 위도, 경도, 기준 경도, 시간, 천공 상태 등을 적용시켜 시뮬레이션을 실행한다.

두 번째 단계로 실행 결과에서 Mkillum program [8]을 적용하는데 Mkillum은 창문을 통해 유입되어 방향에 따라 확산되는 빛을 계산한다. Mkillum을 적용하는 순서는 식 (1)과 같다.

세 번째 단계로 Mkillum을 적용한 후 휘도를 계산해야 하는데 RADIANCE 프로그램에서는 공식에 의해 광휘(radiance)값을 계산하게 되고 여기에

Radiance's luminous efficacy를 곱하여 휘도를 구하며[식 (2)], 최종적으로 휘도를 계산하는 공식은 식 (3)과 같다.

```
% oconv materials.rad window.rad > A.oct
% mkillum -ab 2 -ad 256 -as 128 A.oct < window.
rad > illum.rad
% oconv materials.rad illum.rad > test.oct ..... (1)
% echo eye position(x,y,z) direction vector(x,y,z) |
rtrace -ov -h [rtrace options] [octree file] |
rcalc -e '$1=179*.263*$1+.655*$2+.082*$3 ..... '(2)
Luminance(cd/m²) = Radiance(W/m²/steradian)×
luminous efficacy (179lm/w) ..... (3)
```

2.4 시뮬레이션 결과 분석

시뮬레이션을 실행한 결과를 분석한 결과 다음과 같은 3가지 경로에 의해 휘도가 측정되었다(그림 4).

- A의 경우 : 블라인드의 윗면을 측정
- B의 경우 : 블라인드의 아랫면을 측정
- C의 경우 : 블라인드를 통과하여 천공 측정

A의 경로와 B의 경로로 측정된 결과를 비교하였을 때 약 15배의 휘도 차이를 나타내었으며, A와 C의 경우를 비교하였을 때는 약 167배의 차이를 나타내었으며 B와 C의 경우를 비교하였을 때는 2500배의 큰 차이를 나타내었다.

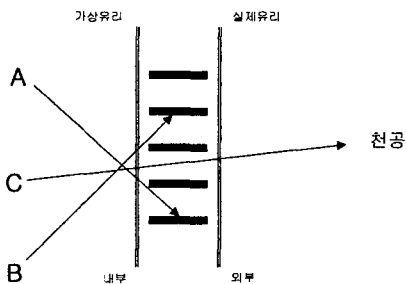


그림 4. 휘도측정 방향의 종류
Fig. 4. The different ways of the luminance measurement

본 연구에서는 창문을 4개로 나누어 시뮬레이션

한 결과값을 분석한 결과 투과율에 차이가 크지 않아 결과에서는 한 요소(W1)만 분석하였다.

그림 5~13은 하지, 그림 14~22는 춘·추분 그리고 그림 23~31은 동지일 때 블라인드 각도와 시간에 변화를 주어 투과율을 계산한 결과를 나타내고 있다. 블라인드 각도가 90°일 때는 계절과 시간에 관계없이 모든 측정위치에서 주광의 영향이 거의 없다는 것을 알 수 있다. 또한 투과율도 다른 블라인드 각도, 계절 등에 비해 아주 낮은 수치가 나타났는데 투과율의 범위를 보면 0%~0.02%로 일정한 수치를 나타냈다. 그림 5~13에서는 계절은 하지를 나타내고 있는데 블라인드 각도가 45°일 때는 90°일 때보다 측정각도에 따라 투과율에 큰 차이를 나타내었는데, 측정각도가 345°~45°에서 투과율의 범위는 53%까지 나타났으며 나머지 측정위치에서는 0.1%이하의 투과율을 나타냈다. 이것은 휘도측정 면이 태양의 영향을 받으면 투과율이 높게 나타나고 그렇지 않으면 낮은 투과율이 나타나는 것이다. 블라인드 각도가 0°일 때 측정된 데이터를 보면 45°~135°, 225°~315°에서 큰 투과율 수치를 보였으며 투과율은 블라인드 각도가 45°일 때와 마찬가지로 53%로 나타났다. 나머지 측정위치에서는 0.01%로 약간 다른 수치를 나타냈는데 이것은 나머지 다른 각도와 비교했을 때 약 529배의 큰 차이를 나타내었다.

그림 14~22에서는 계절은 춘·추분을 나타내고 있는데 블라인드 각도가 45°일 때는 측정각도가 345°~45°일 때 다른 각도에 비해 높은 투과율을 나타내었는데 그 범위는 0%~54%까지 나타났다. 블라인드 각도가 0°일 때 시뮬레이션한 결과를 보면 45°~135°, 225°~315°에서 큰 투과율 수치를 보였는데 투과율은 최고 약 53%까지 나타났으며 다른 측정 각도에서는 주광이 투과되지 않는 곳도 나타났다.

그림 23~31에서는 계절은 동지를 나타내고 있는데 블라인드 각도가 90°일 때는 측정각도에 관계없이 투과율 0%에 가까운 값을 나타냈고, 이 결과는 하지, 춘추분과는 다른 결과를 나타낸 것이다. 이것은 동지일 때 태양고도가 가장 낮기 때문에 태양이 블라인드에 완전히 가려져 휘도를 계산할 수 없다는 것을 의미한다.

전체적인 투과율의 수치를 보면 블라인드의 각도

가 작아질수록 투과율의 수치에 큰 차이를 나타내었다. 이러한 이유는 휘도에 의한 투과율을 계산하였기 때문에 측정위치가 블라인드의 후면을 측정하는 위치에서는 투과율이 작은 수치를 나타내었으며 블라인드의 영향 없이 외부의 천공을 측정하였을 때는 높은 수치를 나타내므로 이러한 결과가 나타났다. 그러므로 측정위치가 시뮬레이션된 투과율의 수치에 큰 영향을 미쳤다는 것을 알 수 있다.

3. DayDim으로의 적용 방법

DayDim 프로그램에서 외부 천공에 의한 실내면의 조도를 측정하는 순서는 실내벽면과 유리창을 포함하여 일정 크기의 유한 면요소로 나눈다. 그리고 유리창의 유한 면요소 중심에서 실내벽면 유한 면요소의 중심으로 도달하는 휘도를 시뮬레이션한다. 이 측정된 휘도는 $L = \pi/M$ 의 공식을 이용하여 초기광속 발산도로 변환하고 이 값에 의해 광속발란스공식 (Flux Balance Equation)을 만든 후, 반복적인 방

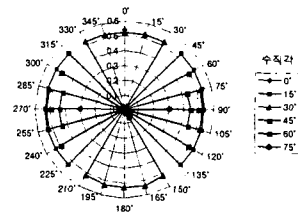


그림 7. 블라인드각도 0°때 시뮬레이션(15시-하지)
Fig. 7. The transmittance simulated blind angle at 0° (at 15:00-Summer solstice)

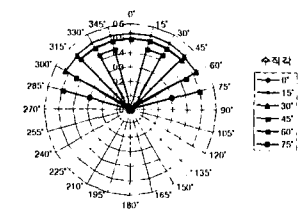


그림 8. 블라인드각도 45°때 시뮬레이션(9시-하지)
Fig. 8. The transmittance simulated blind angle at 45° (at 9:00-Summer solstice)

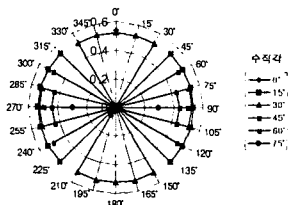


그림 5. 블라인드각도 0°때 시뮬레이션(9시-하지)
Fig. 5. The transmittance simulated blind angle at 0° (at 9:00-Summer solstice)

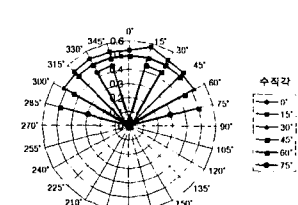


그림 9. 블라인드각도 45°때 시뮬레이션(12시-하지)
Fig. 9. The transmittance simulated blind angle at 45° (at 12:00-Summer solstice)

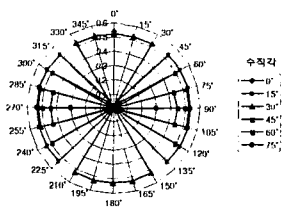


그림 6. 블라인드각도 0°때 시뮬레이션(12시-하지)
Fig. 6. The transmittance simulated blind angle at 0° (at 12:00-Summer solstice)

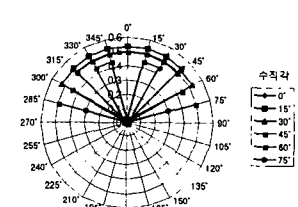


그림 10. 블라인드각도 45°때 시뮬레이션(15시-하지)
Fig. 10. The transmittance simulated blind angle at 45° (at 15:00-Summer solstice)

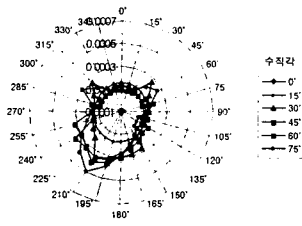


그림 11. 블라인드각도 90°때 시뮬레이션(9시-하지)
 Fig. 11. The transmittance simulated blind angle at 90° (at 9:00-Summer solstice)

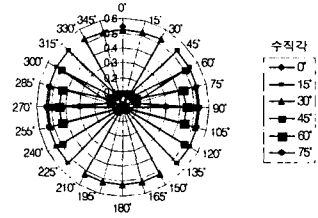


그림 15. 블라인드각도 0°때 시뮬레이션(12시-춘추분)
 Fig. 15. The transmittance simulated blind angle at 45° (at 12:00--Equinox)

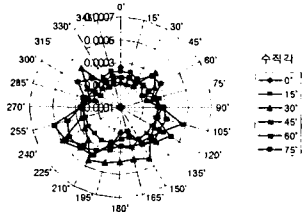


그림 12. 블라인드각도 90°때 시뮬레이션(12시-하지)
 Fig. 12. The transmittance simulated blind angle at 90° (at 12:00-Summer solstice)

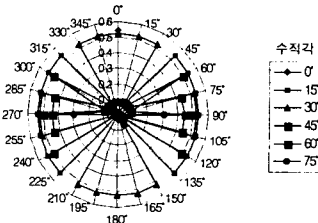


그림 16. 블라인드각도 0°때 시뮬레이션(15시-춘추분)
 Fig. 16. The transmittance simulated blind angle at 45° (at 15:00-Equinox)

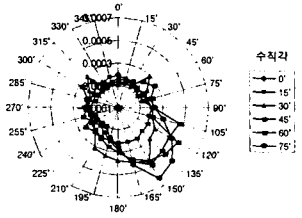


그림 13. 블라인드각도 90°때 시뮬레이션(15시-하지)
 Fig. 13. The transmittance simulated blind angle at 90° (at 15:00-Summer solstice)

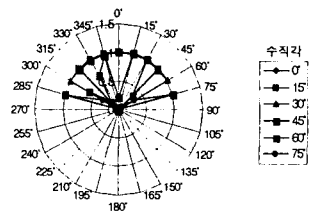


그림 17. 블라인드각도 45°때 시뮬레이션(9시-춘추분)
 Fig. 17. The transmittance simulated blind angle at 45° (at 15:00-Equinox)

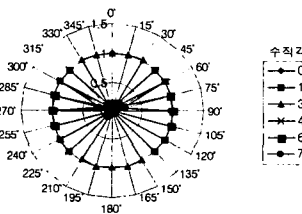


그림 14. 블라인드각도 0°때 시뮬레이션(9시-춘추분)
 Fig. 14. The transmittance simulated blind angle at 45° (at 9:00-Equinox)

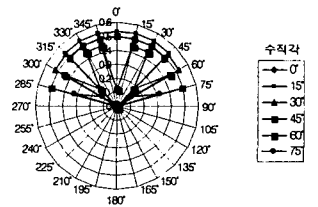


그림 18. 블라인드각도 45°때 시뮬레이션(12시-춘추분)
 Fig. 18. The transmittance simulated blind angle at 45° (at 15:00-Equinox)

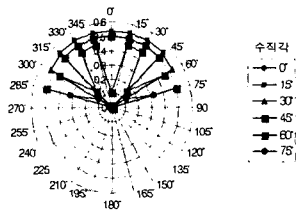


그림 19. 블라인드각도 45°때 시뮬레이션(15시-춘추분)
Fig. 19. The transmittance simulated blind angle at 45°
(at 15 clock-Equinox)

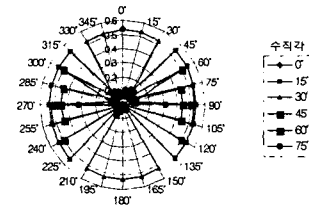


그림 23. 블라인드각도 0°때 시뮬레이션(9시-동지)
Fig. 23. The transmittance simulated blind angle at 45°
(at 9:00-Winter solstice)

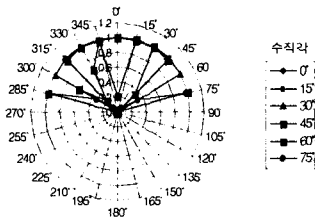


그림 20. 블라인드각도 90°때 시뮬레이션(9시-춘추분)
Fig. 20. The transmittance simulated blind angle at 45°
(at 9:00-Equinox)

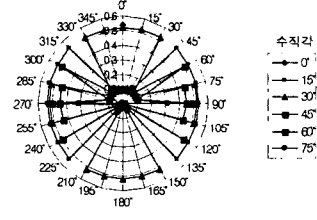


그림 24. 블라인드각도 0°때 시뮬레이션(12시-동지)
Fig. 24. The transmittance simulated blind angle at 45°
(at 12:00-Winter solstice)

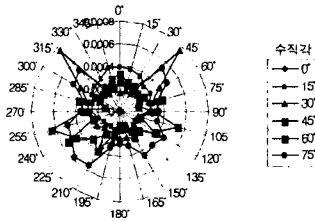


그림 21. 블라인드각도 90°때 시뮬레이션(12시-춘추분)
Fig. 21. The transmittance simulated blind angle at 45°
(at 12:00-Equinox)

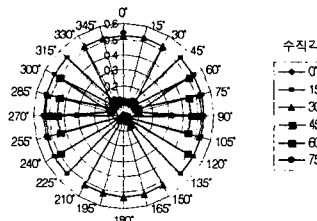


그림 25. 블라인드각도 0°때 시뮬레이션(15시-동지)
Fig. 25. The transmittance simulated blind angle at 45°
(at 15:00-Winter solstice)

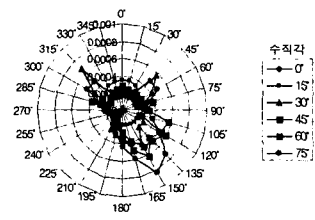


그림 22. 블라인드각도 90°때 시뮬레이션(15시-춘추분)
Fig. 22. The transmittance simulated blind angle at 45°
(at 15:00-Equinox)

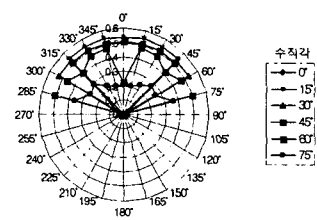


그림 26. 블라인드각도 45°때 시뮬레이션(9시-동지)
Fig. 26. The transmittance simulated blind angle at 45°
(at 9:00-Winter solstice)

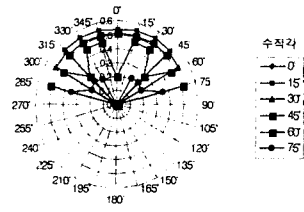


그림 27. 블라인드각도 45°때 시뮬레이션(12시-동지)
Fig. 27. The transmittance simulated blind angle at 45° (at 12:00-Winter solstice)

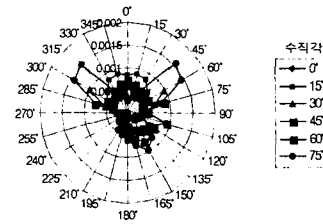


그림 31. 블라인드각도 90°때 시뮬레이션(15시-동지)
Fig. 31. The transmittance simulated blind angle at 45° (at 15:00-Winter solstice)

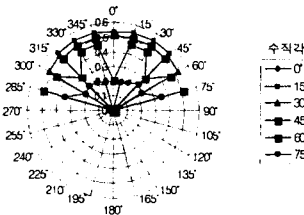


그림 28. 블라인드각도 45°때 시뮬레이션(15시-동지)
Fig. 28. The transmittance simulated blind angle at 45° (at 15:00-Winter solstice)

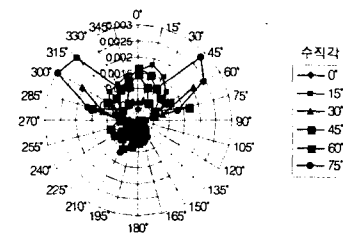


그림 29. 블라인드각도 90°때 시뮬레이션(9시-동지)
Fig. 29. The transmittance simulated blind angle at 45° (at 9:00-Winter solstice)

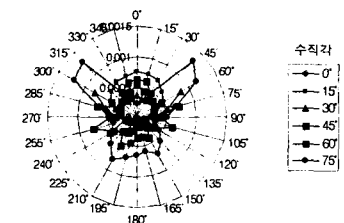


그림 30. 블라인드각도 90°때 시뮬레이션(12시-동지)
Fig. 30. The transmittance simulated blind angle at 45° (at 12:00-Winter solstice)

법(Gauss-Seidel, Jacobi, Southwell 등)을 통해 각 유한 면요소에 도달하는 최종 광속발산도값을 구한다. 최종 광속발산도값과 Configuration factor를 통해 구하고자 하는 유한 면요소 중심의 최종 조도값을 구한다[10].

이러한 일련의 과정에서 각각의 유한 면요소 중심 점은 기하학적으로 좌표계산이 가능하므로 벽면 및 유리창의 좌표(x,y,z)를 구하면 두 좌표사이의 각도를 구할 수가 있다. 본 시뮬레이션에서는 수직각과 수평각을 각각 15°로 나누어 투과율을 측정하였으므로 각 15° 사이에 위치하는 좌표의 투과율을 Day Dim에 적용시키게 된다. 그러면 모든 유한 면요소에서 블라인드에 의한 주광의 영향을 측정할 수가 있다(그림 32).

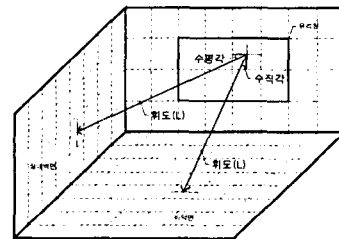


그림 32. DayDim에서 휘도 및 투과율 측정에 적용된 수직각과 수평각
Fig. 32. Vertical and horizontal angle applied to luminance and transmittance measurement in DayDim

그림 32는 DayDim에서 휘도 및 투과율 측정에 사용되는 수직각과 수평각을 그림으로 나타내었다. 그러나 수직각과 수평각의 15° 사이에 포함된 모든

실내벽면과 바닥면의 그리드는 같은 투과율을 갖는 한계성을 가지고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 RADIANCE 프로그램을 이용하여 블라인드 모델링을 실행하고 블라인드의 각도에 따른 투과율을 계산하였다. 본 연구결과를 기초로 하여 DayDim에 적용시키면 어떠한 변수가 적용되더라도 실내공간의 조도계산 및 광센서 조광제어시스템의 정확한 실행여부를 판단할 수 있는 도구가 될 것이다.

- 감사의 글 -

이 논문은 2001년도 에너지 관리공단 학술진흥사업 연구비 지원에 의해 연구되었음(과제번호: 2001-E-EL03-P-03).

References

[1] 최안섭 외, 조명시스템의 자동화를 위한 주광센서 연동 제어시스템의 개발연구, 삼성물산(주) 기술연구소, 1998, 12.
 [2] Richard Mistrick, Ching-Hua Chen, Andrew Bierman, and Don Felts, A Comparison of Photosensor-Controlled Electronic Dimming Systems in a Small Office, JOURNAL of the Illuminating Engineering Society, winter 2000.
 [3] Soo-Young Kim and Richard Mistrick, Recommended Daylight Conditions for Photosensor System Calibration in a small Office, JOURNAL of the Illuminating Engineering Society, summer, 2001.

[4] Charles Ehrlich, Konstantinos Papamichael, Judy Lai, Kenneth Revzan, A method for simulating the performance of photosensor-based lighting controls, Energy and Buildings, 2002.
 [5] E.S. Lee, D.L. DiBartolomei, and S.E. Selkowitz, The Effect of Venetian Blinds on Daylight Photo-electric Control Performance, JOURNAL of the Illuminating Engineering Society, winter, 1999.
 [6] 최안섭, 주광센서 연동제어시스템의 분석을 위한 컴퓨터 수치 모델의 개발 및 검증, 대한건축학회 논문집, 제 13권, 9호, 1997.
 [7] Greg Ward Larson, Rob Shakespeare, RENDERING WITH RADIANCE, The Art and Science of Lighting Visualization, MORGAN KAUFMANN PUBLISHERS, 1998.
 [8] 양해인 외, RADIANCE프로그램에 의한 빛환경 설계 및 평가 타당성 검증, 한양대학교 대학원 석사학위 논문.
 [9] 정근영 외, 광센서 조광제어시스템에서 광센서의 방향성과 위치에 관한 시뮬레이션 연구, 대한건축 학회 추계학술발표대회, 2002.
 [10] 최안섭, 광속전달법에서의 효율적인 Form Factor 계산 방법에 관한 연구, 대한조명전기설비학회, 추계학술발표대회, 2001.

◇ 저자소개 ◇

정근영 (鄭根泳)

1973년 3월 7일생, 2000년 세종대학교 건축공학과 졸업, 2002년 동대학원 졸업(석사), 현재 (주)대원전기 근무.

최안섭 (崔安燮)

1967년생, 1991년 한양대학교 건축공학과 졸업, 1993년 미국 펜실베니아주립대 건축공학과 졸업(석사), 1997년 미국 펜실베니아주립대 건축공학과 졸업(박사), 1997년-2000년 삼성건설 기술연구소 선임연구원, 2000년-현재 세종대학교 건축공학부 교수.