

적합한 조명시뮬레이션 사용을 위한 주광 시뮬레이션과 Mock-up 실험 비교에 관한 연구

(A Study on the Comparison of the Illuminance Values from Daylight Simulation and Mock-up Experiment for Suitable Application of Lighting Simulation)

김유신* · 최안섭**

(Yu-Sin Kim · An-Seop Choi)

요 약

주광은 인공광원보다 심리적 안정과 심리적·신체적 건강 측면 등에서 질적으로 우수하며, 작업능률의 향상에 도움을 주는 것으로 알려져 있다. 또한 쾌적한 빛 환경에 대한 재실자들의 요구가 증가하고 있다. 그러나 주광의 양과 질이 항상 일정하지 않아 예측하기가 어렵기 때문에 이러한 주광의 유용성에도 불구하고 건축설계에 주광을 적극적으로 반영하는 경우가 드물다. 본 연구의 목적은 이러한 주광의 성능을 계량화하고 가시화 할 수 있는 다양한 조명시뮬레이션 소프트웨어(Lightscape 3.2, Relux 2007, Radiance 3.9)를 사용함으로 주광을 예측하고, 도출된 결과 값과 Mock-up 실험의 실측값을 비교·분석을 통하여 조명시뮬레이션 소프트웨어 활용성을 극대화하는 것이다.

Abstract

Available daylight in inside offers comfortable view environment, and psychological and physical advantages to people in a room. Architectural design has a need for daylight prediction. But it is difficult to predict the illuminance values in daylight system. Using various Daylight simulation software is easy and simple, but we can find different results under the same conditions. This study compares with illuminance values from simulation (Lightscape 3.2, Relux 2007, Radiance 3.9) and Mock-up experiment with a same space and parameter of daylight (location of space and window, date, time and sky condition).

Key Words : Lighting Simulation Software, Mock-Up Experiment, Daylight, Evaluation of Daylight

* 주저자 : 세종대학교 건축공학과 박사과정

** 교신저자 : 세종대학교 건축공학과 교수

Tel : 02-3408-3761, Fax : 02-3408-4331

E-mail : aschoi@sejong.ac.kr

접수일자 : 2009년 9월 30일

1차심사 : 2009년 10월 15일

심사완료 : 2009년 11월 6일

1. 서 론

1.1 연구의 배경

주광은 재실자의 시각적·열적 쾌적함과 에너지 소비, 인공조명의 설계와 조명제어시스템 등 수많은 건축요소에 영향을 미친다[1]. 그리고 건축가들은 주광의 유입을 통하여 공간의 느낌을 변화시키고, 성스러움과 건강미를 표현하는 디자인적 요소로 활용하여 왔다. 이러한 주광은 인간의 시각 반응에 가장 근접하게 일치하는 광원으로 인공광원보다 심리적 안정과 작업 환경, 유쾌함, 심리적·신체적 건강, 연색성 측면 등에서 질적으로 우수하며, 작업능률 향상에 도움을 준다고 알려져 있다[2]. 또한 현대인들의 건강 및 환경에 대한 의식수준이 높아지면서 쾌적한 빛 환경에 대한 재실자의 요구가 증가하고 있다. 그리고 대부분의 사무실 근로자들이 사무실에 창문이 있어야 한다고 생각하고, 또한 창문으로의 주광유입을 선호하는 것으로 보고되어졌다[3].

그러나 이러한 주광의 유용성에도 불구하고 주광의 양과 질이 항상 일정하지 않아 예측하기가 어렵기 때문에 건축설계에 있어서 주광을 적극적으로 반영하는 경우가 극히 드문 것이 현실이다. 이러한 주광의 활용을 높이기 위해서는 주광 성능의 예측 및 평가가 필요하며, 이는 조명시뮬레이션 소프트웨어나 Mock-up 실험을 이용하는 방법이 일반적이다.

최근 주광의 성능을 계량화하고 가시화 할 수 있는 다양한 조명시뮬레이션 소프트웨어들이 개발되고 있다. 주광계산이 가능한 대표적인 조명시뮬레이션 소프트웨어로는 Lightscape와 Relux, Radiance, AGI 32, Lumen-micro 2000 등이 있으며, 조명시뮬레이션 소프트웨어를 사용함으로써 주광을 쉽고, 간단하게 예측할 수 있는 장점이 있다.

1.2 연구의 목적 및 방법

과거에 조명시뮬레이션 Lumen-micro 2000, Relux 2006, Lightscape 3.2, AGI 32를 이용한 인공조명과 주

광유입 시뮬레이션 결과 값 비교에 관한 연구[4,5]가 있었다. 본 연구의 목적은 Mock-up 실험의 실험 측정값과 조명시뮬레이션 소프트웨어 중 Lightscape 3.2, Relux 2007, Radiance 3.9를 이용하여 Mock-up 실험실과 동일한 조건으로 주광 시뮬레이션을 수행하여 결과 값을 비교·분석하고, 이를 통해 조명시뮬레이션 소프트웨어 활용성을 극대화 하는 것이다.

본 연구는 S대학교 Y관 옥상에 1/2 축소 Mock-up 실험실을 설치하여 실내·외 조도를 측정하였고, Mock-up 실험 공간과 동일한 조건으로 모델링하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그리고 Mock-up 실험 측정값과 시뮬레이션 결과 값에 있어서 어떠한 차이가 발생하는지 비교·분석하였고, 각각의 소프트웨어 별로 어떠한 차이가 있는지 비교·분석하였다.

2. 이론고찰

2.1 조명시뮬레이션 소프트웨어 개요

Lightscape는 실내·외 조명시뮬레이션이 가능하며, Windows를 기반으로 개발된 조명분석 및 3D 이미지를 만들 수 있는 소프트웨어로 현실적인 조명효과를 표현하고 실사와 유사한 시뮬레이션이 가능하다. 이때 조도 계산 및 분석에는 광선추적기법과 광속전달법의 알고리즘이 사용되며, 자연채광 계산은 IES-RP-21 “Calculation of daylight availability”를 사용한다[6]. 그리고 Relux는 공개된 인터페이스의 소프트웨어로, 실내·외 공간과 도로설계를 위한 인공조명, 주광 시뮬레이션 등이 가능하다. 그리고 조도 계산 및 분석에는 광속전달법을 기반으로 하는 계산 알고리즘을 사용하며, 자연채광 계산은 CIE 주광 계산법을 사용한다[7].

Radiance는 미국 LBNL(Lawrence Berkeley National Laboratory)에서 개발한 조명시뮬레이션 소프트웨어로써 빛의 거동을 물리적으로 시뮬레이션을 수행한 결과로부터 조도 및 휘도 분포를 계산하고, 가시화하여 빛 환경의 정량적, 정성적 평가가 모두 가능한 장점을 가지고 있다. 광선추적기법을 기본으로 광선이 자연적으로 진행되는 방향의 반대 방향으로 추

적하여 실제 광선에서의 광원 활동을 예측한다. 그리고 자연채광 계산은 Relux와 동일하게 CIE 주광 계산법을 이용한다[8].

2.2 조도계산 방법

2.2.1 광선추적기법과 광속전달법

광선추적기법이란 광자의 움직임을 운동 방향과 크기로 벡터화 시키고, 공간 내에서 이동한 궤적을 수학적 계산에 의해 예측하는 기법이다. 이러한 광선추적기법을 통해 광자가 진행하면서 일어나는 복잡한 광학적 움직임(반사, 굴절, 투과, 흡수 등)을 계산하여 광자의 최종위치를 추적하고, 각 공간의 최종 광량으로 전환하여, 이를 통해 조도계산을 수행한다[9].

광속전달법은 조도를 직접성분과 간접성분으로 나누어 계산하는 방법으로 조도의 직접성분은 조명기구로부터 면의 반사를 거치지 않고 계산 면으로 직접 도달되는 광속을 의미하며, 간접성분은 조도의 직접성분을 제외한 실내 면의 반사를 거치고 계산 면에 도달되는 광속을 의미한다. 이때, 광속이 반사되는 면은 완전 확산면(Lambertian surface)으로 가정한다.

2.2.2 직접성분

직접성분은 역자승 법칙(ISQL:Inverse square law)을 이용하여 계산할 수 있는데, 역자승 법칙이란 점광원에 의한 조도가 광원으로부터의 거리 제곱에 반비례하며 감소된다는 법칙을 의미한다. 역자승 법칙은 다음 식 (1)과 같이 정의 되며, 이때, 조명기구로부터 광속을 받는 실내 면의 유한요소까지의 거리가 광속을 발산하는 조명기구의 장변 치수의 5배 이상일 때 조명기구의 유한요소를 점광원으로 가정하는 5 Times-rule이 성립되도록 해야 한다[10].

$$E = \frac{I(\phi, \psi) \times \cos\theta}{r^2} \quad (1)$$

여기서, E : 조도의 직접성분(lumen/m²)
 $I(\phi, \psi)$: 각도 (ϕ, ψ) 에 대한 광도(cd)
 θ : 계산 면으로 입사되는 입사각

r : 조명기구의 유한요소의 중앙 점에서부터 계산 면의 유한요소의 중앙 점까지 거리 ([m])

주광계산에 있어서의 직접성분은 직사일광과 천공광으로 나눌 수 있다. 먼저, 직사일광에 의한 실내조도 계산은 일단 계산 점에서 태양을 직접 볼 수 있는지를 먼저 확인한 후, 천공별 직사일광에 의한 조도 값을 창문의 투과율을 고려한 후 사용한다. 그리고 천공광에 의한 실내조도 계산은 계산 점에서 바라본 천공 포인트의 휘도를 계산한 후, 이것을 광속발산도로 전환하여 최종 조도계산을 수행한다.

2.2.3 간접성분

간접성분의 계산에서는 실내 면을 유한요소로 나누며, 직접성분에서와 마찬가지로 5 Times-rule이 성립되도록 하고, 역자승법칙을 이용하여 조도 값을 구한다. 그리고 직접성분을 받는 반사면의 반사율에 의한 초기 광속발산도를 구하고, 그 면에서 발산된 광속을 실내의 다른 면과 주고받는 과정에서 발생하는 계산 면의 광속을 간접성분이라 할 수 있다. 이때, Flux balance equation에 의해 유한요소끼리 서로 반복되는 반사와 재반사의 수렴된 값으로 간접성분을 계산할 수 있다[11].

3. 시뮬레이션 및 실험

3.1 Mock-up 실험실 및 시뮬레이션 개요

본 연구에서 Mock-up 실험실(S대학교 Y관 옥상) 및 시뮬레이션 공간의 위치는 위도 37[°] 33['], 경도 127[°] 4[']정남향으로 설정하였다. 그리고 실험 측정값과 시뮬레이션의 날짜는 동지(12월 1일~1월 31일), 춘분(2월 1일~3월 31일)을 기준으로 하여 다음 표 1과 같이 날짜는 이 중 하루 중일 청천공이었던 날짜(동지 기준: 12월 26일, 춘분 기준: 2월 8일)와 하루 중일 담천공이었던 날짜(동지 기준: 12월 29일, 춘분 기준: 2

적합한 조명시뮬레이션 사용을 위한 주광 시뮬레이션과 Mock-up 실험 비교에 관한 연구

월 22일)를 선별하였고, 시간은 10시, 12시, 14시, 16시로 설정하였다. 천공구분을 위한 구름양은 기상청에서 제공하는 운량데이터를 활용하였다[12].

표 1. 구름양
Table 1. Amount of clouds

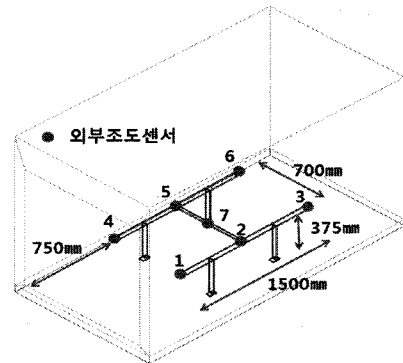
구분		10시	12시	14시	16시
동지	12월 26일	0	0	0	0
	12월 29일	8	10	10	10
춘분	2월 8일	0	0	0	0
	2월 22일	10	10	10	8

표 2. Mock-up 실험실 및 시뮬레이션 개요
Table 2. The outline of the Mock-up test bed and the simulation

구분	변수		내용
외부조건	위치		위도 37[°] 33['], 경도 127[°] 4['] (S대학교 Y관 옥상)
	실험기간	동지	12월 26일(청천공), 12월 29일(담천공)
		춘분	2월 8일(청천공), 2월 22일(담천공)
	시간		10시, 12시, 14시, 16시
내부조건	실험실 크기([mm])		1510(W) × 2870(D) × 1640(창측)/1570(문측)(H)
	재질/반사율	천장	흰색 페인트/0.84
		벽체	흰색 페인트/0.84
바닥	카펫/0.26		
창호	방향	정남향(North 0[°])	
	크기([mm])	1290(W) × 1215(H)	
	투과율([%])	86	
천공상태		청천공, 담천공	

Mock-up 실험실의 내부 반사율은 천정 0.84, 벽체 0.84, 바닥 0.26으로 측정되었고, 유리 투과율은 86[%]이며, 위의 표 2는 Mock-up 실험실과 시뮬레이션의 개요를 나타낸 것이다. 그리고 Mock-up 실험실의 조도 측정은 외부 1개소와 실내 작업면 7개소, 총 8개소에 조도 센서를 설치하여 측정하였으며, 측정된 조도 값은 Data-Logger와 Lab view를 이용하여 PC에 저

장된다. 측정값은 매초 순간적인 조도 값을 측정하여 1분단위로 평균하여 기록하였다. 다음 그림 1은 조도 센서의 설치모습 및 측정기기의 모습이다. 시뮬레이션에서도 Mock-up 실험실에 설치된 조도 센서와 동일한 위치에서의 결과 값을 도출하여 이용하였다.



(a) 조도센서 설치 후 내부모습

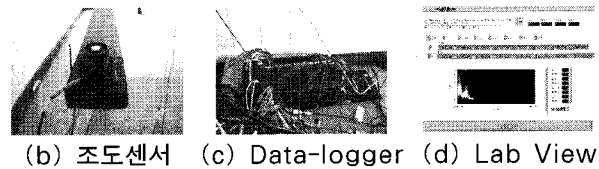


그림 1. 내부모습 및 측정기기 모습
Fig. 1. Indoor View and measurement equipment

3.2 실험 및 시뮬레이션 결과 비교·분석

동일한 조건(날짜, 시간, 천공상태)으로 주광시뮬레이션을 수행하였을 때, 소프트웨어별로 절대 값이 서로 다르게 도출된다. 이는 각각의 소프트웨어의 주광 계산 알고리즘에 사용되는 천공모델이 다르기 때문이다. 또한 실험 측정값은 순간적인 값이기 때문에 천공에 따른 평균값을 사용하는 시뮬레이션과 서로의 절대 값을 직접 비교할 수는 없다. 이러한 이유로 본 연구에서는 절대 값의 비교는 의미가 없다고 판단되어 외부 조도를 기준(100[%])으로 하여 평균값, 최소값, 최대값을 백분율([%])로 나타내었다. 즉, 실험 측정값과 시뮬레이션의 외부 조도 값이 동일하다고 가정할 때, 유입되는 주광에 의한 실내의 조도 값을 비교하고자 하였다. 다음 표 3은 실험 측정값 및 시뮬레이션 결과 값을 외부조도를 기준으로 상대비율로 나타냈다.

실험 측정값과 시뮬레이션 결과 값을 비교했을 때, 청천공인 경우, 실험 측정값에 비해 시뮬레이션 결과 값의 비율이 모두 높게 나타났으며, 그 중 Relux의 결

과 값이 실험 측정값과 다소 유사한 비율을 보였다. 그리고 담천공인 경우, 모든 시뮬레이션 결과 값의 비율이 실험 측정값에 비해 낮게 나타났다. 그 중

표 3. 시뮬레이션 및 실험 결과 - 외부조도 기준

Table 3. Results of simulation and experiment - based on the outdoor illuminance

시간	천공 상태	결과 값	동지 기준				춘분 기준			
			실측	Lightscape	Relux	Radiance	실측	Lightscape	Relux	Radiance
10시	청천공	외부(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
		Avg.(%)	15.2	30.8	23.0	27.8	14.9	24.0	17.5	21.7
		Min.(%)	5.9	15.7	8.4	11.7	6.7	9.6	4.7	7.2
		Max.(%)	53.2	95.1	79.9	94.2	39.0	89.6	74.9	88.4
		Min./Avg.	0.39	0.51	0.36	0.42	0.45	0.40	0.27	0.33
	담천공	외부(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
		Avg.(%)	15.9	6.5	4.9	6.3	16.9	6.5	4.9	6.3
		Min.(%)	7.4	4.5	2.5	2.7	8.9	4.5	2.5	2.7
		Max.(%)	33.9	9.2	8.7	12.2	32.7	9.2	8.6	12.2
		Min./Avg.	0.47	0.70	0.51	0.43	0.53	0.70	0.51	0.43
12시	청천공	외부(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
		Avg.(%)	21.4	58.1	47.9	55.5	15.8	27.7	23.0	26.4
		Min.(%)	5.2	8.5	7.1	7.1	5.6	6.1	4.7	4.8
		Max.(%)	47.5	79.3	66.0	77.3	53.4	79.8	66.7	78.4
		Min./Avg.	0.24	0.15	0.15	0.13	0.35	0.22	0.20	0.18
	담천공	외부(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
		Avg.(%)	16.5	6.5	4.9	6.3	15.4	6.4	4.9	6.3
		Min.(%)	8.2	4.5	2.5	2.7	8.0	4.1	2.5	2.7
		Max.(%)	31.5	9.2	8.6	12.2	29.0	9.2	8.7	12.2
		Min./Avg.	0.50	0.70	0.51	0.43	0.52	0.64	0.51	0.43
14시	청천공	외부(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
		Avg.(%)	24.2	42.1	26.7	40.1	18.0	18.7	15.4	17.8
		Min.(%)	5.2	11.0	7.4	8.8	5.9	6.7	4.7	5.3
		Max.(%)	38.3	85.0	72.3	85.0	45.1	81.2	68.4	80.7
		Min./Avg.	0.21	0.26	0.28	0.22	0.33	0.36	0.30	0.30
	담천공	외부(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
		Avg.(%)	16.5	6.4	4.9	6.3[%]	15.9	6.2	4.9	6.3
		Min.(%)	8.2	4.5	2.5	2.7[%]	7.9	4.3	2.5	2.7
		Max.(%)	31.4	9.1	8.6	12.2	30.8	8.8	8.6	12.2
		Min./Avg.	0.49	0.70	0.51	0.43	0.50	0.70	0.51	0.43
16시	청천공	외부(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
		Avg.(%)	10.3	35.9	18.0	32.9	15.0	25.6	10.8	23.1
		Min.(%)	5.2	18.2	8.0	14.0	7.1	11.2	4.7	7.7
		Max.(%)	19.2	96.0	40.4	99.9	37.8	89.3	25.3	90.0
		Min./Avg.	0.50	0.51	0.44	0.42	0.47	0.44	0.44	0.33
	담천공	외부(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
		Avg.(%)	17.7	6.3	4.9	6.3	16.4	6.4	6.7	6.3
		Min.(%)	9.1	4.4	2.5	2.7	7.6	4.5	3.5	2.7
		Max.(%)	32.5	9.0	8.6	12.2	39.2	9.1	11.7	12.2
		Min./Avg.	0.51	0.70	0.52	0.43	0.46	0.70	0.52	0.43

Lightscape의 결과 값 중 평균값과 최소값이 실험 측정값과 유사하게 나타났으며, Radiance는 최대값에서 실험 측정값과 유사함을 보였다.

그리고 균제도(Min./Avg.)인 경우, 실험 측정값에서는 청천공 중 태양의 고도가 높아지는 12시와 14시를 제외하고는 동지와 춘분, 그리고 천공상태에 관계없이 약 0.5로 거의 일정하게 나타났다. 그러나 시뮬레이션의 결과 값에서 청천공인 경우, 동지와 춘분, 그리고 시간에 따라 시뮬레이션 결과 값이 상이하게 나타났으며, 그 중 Lightscape와 Relux의 결과 값이 실험 측정값과 다소 유사하게 나타났다. 또한 담천공인 경우, Relux의 결과 값이 약 0.51로 실험 측정값과 유사하게 나타났으며, Lightscape의 결과 값은 약 0.7로써 실험 측정값과 가장 큰 차이를 보였다.

다음 표 4는 시간별로 분류했던 표 3의 값을 외부조도를 기준(100[%])으로 실험 측정값과 시뮬레이션 결과 값을 평균하여 천공별, 날짜별로 분류하여 나타낸 것이다. 청천공의 경우 실험 측정값의 경우 동지와 춘분에 상관없이 평균값이 약 17[%], 최소값 약 6[%], 최대값 약 40[%]였고, 시뮬레이션의 결과에서는 Relux의 평균값, 최대값, 최소값이 동지일 때는 약 29[%], 8[%], 65[%], 춘분일 때는 약 17[%], 5[%], 59[%]로 다른 시뮬레이션 결과에 비해 실험 측정값과 유사하게 나타났다. 그리고 Lightscape와 Radiance가 서로 비슷한 양상을 보였는데, 평균값, 최소값, 최대값이 동지인 경우 약 40[%], 12[%], 약 89[%]로 나타났으며, 춘분인 경우 약 23[%], 7[%], 85[%]로 나타났다. 또한 담천공인 경우에는 실험 측정값과 시뮬레이션 결과 값이 동지와 춘분, 그리고 시간에 상관없이 거의 동일한 값

이 도출되었으며, 실험 측정값에 비해 시뮬레이션 결과 값이 다소 낮은 비율로 나타났다.

표 5는 외부 조도를 기준으로 실내의 주광유입분포를 나타낸 결과이다. 1은 창측에 위치한 센서의 평균값이고, 2는 가운데에 위치한 센서의 평균값, 3은 실내 측에 위치한 센서의 평균값이다. 청천공인 경우, 전체적으로 실험 측정값보다 시뮬레이션 결과 값의 주광유입분포가 더 높게 나타났으며, 그 중 Relux가 다른 소프트웨어에 비해 실험 측정값과 유사한 주광유입분포를 보였다.

그리고 담천공인 경우에는 실험 측정값과 시뮬레이션 결과 값 모두 동지와 춘분에 상관없이 거의 동일한 주광유입분포를 보였다. 이때, 시뮬레이션 결과에 비해 실험 측정값이 높은 유입분포를 보였으며, 그 비율은 약 30.5[%], 12.2[%], 8.6[%]로 나타났다. 그리고 Lightscape의 주광유입분포 비율은 약 9.1[%], 5.9[%], 4.5[%]로 나타났으며, Relux는 약 8.6[%], 4.0[%], 2.5[%], Radiance는 약 12.0[%], 4.7[%], 2.7[%]로 나타났다. 이러한 결과는 시뮬레이션에서의 담천공은 직사일광이 없는 상태이지만, 실제의 담천공은 그 범위(구름양 8~10)가 다양하고, 어느 정도의 약한 직사일광이 존재하기 때문으로 사료된다.

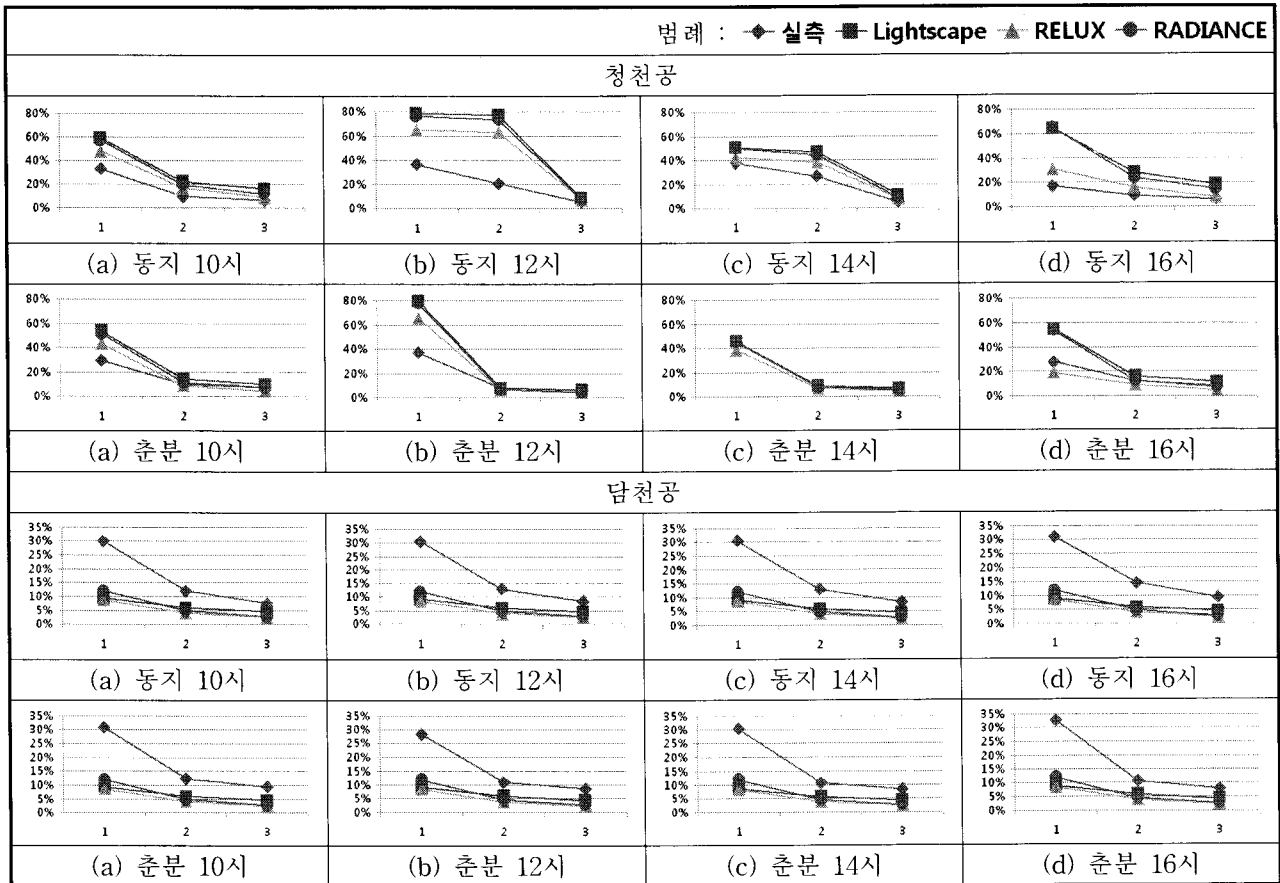
본 연구에서는 조명시뮬레이션 소프트웨어의 결과 값 차이의 원인을 파악하고자 직접성분과 간접성분으로 나누어 분석하였다. 이때, 직접성분은 천장, 벽체, 바닥의 반사율을 0[%]로 설정하여 주광에서 직접 전달되는 성분 값만을 계산하였고, 간접성분은 전체성분과 직접성분의 차이를 이용하여 계산하였다. 그리고 결과 값을 센서 1을 기준으로 센서 2, 3의 비율로 나타

표 4. 시뮬레이션 및 실험 결과 평균 - 외부조도 기준(100[%])

Table 4. Average of the results of simulation and experiment - based on the outdoor illuminance(100[%])

천공 상태	결과 값	동지 기준				춘분 기준			
		실험	Lightscape	Relux	Radiance	실험	Lightscape	Relux	Radiance
청천공	Avg.	17.8	41.7	28.9	39.1	15.9	24.0	16.7	22.2
	Min.	5.4	13.4	7.7	10.4	6.3	8.4	4.7	6.3
	Max.	39.6	88.9	64.6	89.1	43.8	85.0	58.8	84.4
담천공	Avg.	16.7	6.4	4.9	6.3	16.2	6.4	5.4	6.3
	Min.	8.2	4.5	2.5	2.7	8.1	4.4	2.8	2.7
	Max.	32.3	9.1	8.6	12.2	32.9	9.1	9.4	12.2

표 5. 시뮬레이션 및 실험 결과 - 주광유입분포(%)
Table 5. Results of simulation and experiment - Daylight distribution(%)



냈으며, 다음 표 6은 전체성분의 비율을 비교한 것이고, 표 7과 8은 직접성분과 간접성분으로 구분하여 비교한 것이다.

다음 표 6과 같이 전체성분의 비율을 살펴본 결과, 청천공의 경우 각 시뮬레이션 별로 동지와 춘분의 비율 차이가 크게 나타났으나, 동지와 춘분의 16시를 제외하면 시뮬레이션간의 비율이 유사한 것을 알 수 있다. 그리고 동지의 12시와 14시인 경우 센서 2의 비율이 매우 높게 나타났는데, 이는 주광의 유입이 중간에 위치한 센서 2까지 영향을 미치기 때문이다. 담천공인 경우에는 동지와 춘분에서 Lightscape의 비율이 가장 높게 나타났으며, Radiance의 비율이 가장 낮게 나타났다. 그러나 각 시뮬레이션별 동지와 춘분, 시간에 관계없이 2번과 3번 센서의 비율이 Lightscape는 약 64.8[%], 48.9[%]로 나타났으며, Relux는 약 46.9[%],

29.4[%]로, Radiance는 약 38.9[%], 22.5[%]로 동일하게 나타났다.

표 7과 같이 직접성분의 비율을 살펴본 결과, 청천공의 경우 전체성분의 경우와 같이 동지의 12시와 14시에는 센서 2의 비율이 매우 높은 것을 알 수 있으며 이는 주광의 유입이 센서 2의 위치까지 되고 있음을 의미한다. 그리고 Lightscape의 경우 동지와 춘분의 청천공의 직접성분 비율이 다른 소프트웨어에 비해 다소 낮은 것을 알 수 있으며, 이는 전체성분에서 서로 유사하게 나타난 결과와 상이한 결과이다. 또한 Relux인 경우에 동지와 춘분의 청천공 16시의 경우 다른 시뮬레이션 결과와 상이하게 높은 비율로 나타났다. 그리고 담천공인 경우는 전체성분과 동일하게 동지와 춘분에서의 Lightscape의 비율이 가장 높게 나타났으며, Radiance가 다소 낮게 나타났다. 그리고 각 시뮬레

표 6. 시뮬레이션 결과 비교(%) - 전체성분

Table 6. Comparison of simulation results(%) - Value of directed and indirect components

구 분		Lightscape 3.2			Relux 2007			Radiance 3.9			
센 서		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
동지	청천공	10시	100.0	37.2	26.9	100.0	34.2	26.6	100.0	33.8	20.5
		12시	100.0	97.7	10.8	100.0	97.0	13.4	100.0	96.3	9.5
		14시	100.0	92.6	22.0	100.0	89.9	24.0	100.0	88.8	17.9
		16시	100.0	44.0	29.0	100.0	51.8	48.3	100.0	36.4	21.9
	담천공	10시	100.0	64.8	49.2	100.0	47.0	29.4	100.0	38.9	22.5
		12시	100.0	64.8	49.1	100.0	46.5	29.2	100.0	38.9	22.5
		14시	100.0	64.8	49.1	100.0	47.1	29.4	100.0	38.9	22.5
		16시	100.0	64.9	49.1	100.0	47.2	29.6	100.0	38.9	22.5
춘분	청천공	10시	100.0	26.4	18.5	100.0	20.7	11.0	100.0	21.7	14.2
		12시	100.0	9.7	7.7	100.0	10.1	7.2	100.0	8.8	6.3
		14시	100.0	18.9	14.8	100.0	17.9	12.3	100.0	16.7	11.7
		16시	100.0	29.3	20.8	100.0	47.6	25.2	100.0	23.3	14.7
	담천공	10시	100.0	64.8	49.1	100.0	46.6	29.3	100.0	38.9	22.5
		12시	100.0	64.7	47.0	100.0	46.6	29.1	100.0	38.9	22.5
		14시	100.0	64.7	49.0	100.0	47.1	29.4	100.0	38.9	22.5
		16시	100.0	64.7	49.1	100.0	47.1	29.7	100.0	38.9	22.5

표 7. 시뮬레이션 결과 비교(%) - 직접성분

Table 7. Comparison of simulation results(%) - Value of directed components

구 분		Lightscape 3.2			Relux 2007			Radiance 3.9			
센 서		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
동지	청천공	10시	100.0	3.1	1.3	100.0	6.2	2.9	100.0	3.7	2.2
		12시	100.0	97.6	0.5	100.0	96.0	1.9	100.0	95.6	1.3
		14시	100.0	94.9	1.0	100.0	92.5	3.2	100.0	92.0	2.2
		16시	100.0	5.4	2.2	100.0	41.0	19.6	100.0	7.6	3.3
	담천공	10시	100.0	32.1	13.1	100.0	29.5	11.2	100.0	25.5	9.1
		12시	100.0	32.2	13.1	100.0	29.6	11.4	100.0	25.3	8.7
		14시	100.0	32.2	13.1	100.0	29.3	11.5	100.0	25.3	8.7
		16시	100.0	32.1	13.1	100.0	29.5	11.6	100.0	25.3	8.7
춘분	청천공	10시	100.0	2.2	0.9	100.0	4.1	1.9	100.0	3.5	1.5
		12시	100.0	0.8	0.3	100.0	2.6	1.2	100.0	2.1	0.9
		14시	100.0	1.7	0.7	100.0	4.8	2.1	100.0	3.9	1.5
		16시	100.0	2.7	1.1	100.0	39.2	18.3	100.0	3.8	1.5
	담천공	10시	100.0	44.3	13.1	100.0	29.7	11.7	100.0	25.3	8.7
		12시	100.0	32.2	13.1	100.0	29.4	11.3	100.0	25.3	8.7
		14시	100.0	32.2	13.1	100.0	29.4	11.4	100.0	25.3	8.7
		16시	100.0	32.1	13.1	100.0	29.5	11.6	100.0	25.3	8.7

표 8. 시뮬레이션 결과 비교(%) - 간접성분

Table 8. Comparison of simulation results(%) - Value of indirect components

구 분		Lightscape 3.2			Relux 2007			Radiance 3.9			
센 서		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
동지	청천공	10시	100.0	83.2	61.3	100.0	77.6	40.7	100.0	74.9	47.0
		12시	100.0	98.2	87.7	100.0	106.1	94.7	100.0	102.1	84.8
		14시	100.0	87.4	70.6	100.0	82.8	57.9	100.0	80.4	59.5
		16시	100.0	72.7	49.0	100.0	54.0	27.8	100.0	58.6	36.1
	담천공	10시	100.0	85.0	71.5	100.0	81.6	65.0	100.0	76.4	60.2
		12시	100.0	84.8	71.2	100.0	80.9	65.6	100.0	76.6	61.0
		14시	100.0	84.9	71.3	100.0	82.8	65.4	100.0	76.6	61.0
		16시	100.0	85.2	71.5	100.0	83.9	67.0	100.0	76.6	61.0
춘분	청천공	10시	100.0	72.9	52.4	100.0	56.4	30.7	100.0	57.6	39.3
		12시	100.0	89.9	75.0	100.0	85.6	68.1	100.0	76.7	60.9
		14시	100.0	84.3	68.3	100.0	73.8	55.9	100.0	71.5	55.1
		16시	100.0	69.8	50.8	100.0	49.2	26.5	100.0	51.9	34.0
	담천공	10시	100.0	77.4	71.2	100.0	80.4	64.6	100.0	76.6	61.0
		12시	100.0	84.7	67.9	100.0	80.7	64.4	100.0	76.6	61.0
		14시	100.0	84.7	71.1	100.0	83.8	66.7	100.0	76.6	61.0
		16시	100.0	84.8	71.3	100.0	83.2	66.7	100.0	76.6	61.0

이션 별로 동지와 춘분의 비율은 동일하게 나타났다. 담천공의 경우 Lightscape의 센서 2와 센서 3의 비율이 약 33.7[%], 13.1[%]로 나타났으며, Relux는 약 29.5[%], 11.5[%]로, Radiance는 약 25.3[%], 8.8[%]로 나타났다. 이와 같이 소프트웨어별 차이는 발생하였지만 날짜변화에 따른 소프트웨어의 결과값 차이는 없었다.

표 8과 같이 간접성분의 비율을 살펴본 결과, 소프트웨어별 큰 차이는 없었으나, 전체성분이나 직접성분과 같이 전체적으로 Lightscape의 비율이 가장 높게 나타났으며, Radiance의 비율이 가장 낮게 나타났다. 그리고 전체성분이나 직접성분의 결과에서와는 달리 청천공일 때의 비율과 담천공일 때의 비율의 차이가 크지 않게 나타났다. 이때, 동지의 담천공 12시와 14시의 비율이 다른 시간에 비해 매우 높게 나타났으며, 특히 12시의 Relux와 Radiance의 경우는 센서 2의 비율이 센서 1보다 높게 나타났다. 이는 직접성분에서의

동지, 청천공 12시와 14시에서와 같이 직사일광이 유입되었기 때문에 그에 따른 간접성분의 비율이 높아졌으며, 창문의 반사율이 다른 벽의 반사율에 비해 낮기 때문에 창가 측 간접성분이 낮아져 센서 2의 간접성분 비율이 높아진 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 Mock-up 실험과 동일한 조건으로 세 가지의 조명시뮬레이션 소프트웨어 Lightscape 3.2, Relux 2007, Radiance 3.9를 선정하여 실험 측정값과 시뮬레이션 결과 값을 외부 조도 값을 기준으로 비교·분석하였다. 그리고 외부 조도 값을 기준으로 실험 측정값과 시뮬레이션 결과에 의한 주광유입분포를 비교·분석하였으며, 마지막으로 주광유입에 의한 직접성분과 간접성분으로 구분하여 창가 측 조도를 기준으로 시뮬레이션의 결과를 비교·분석하였다. 그

결과, 시뮬레이션 결과 값이 청천공에서는 실험 측정값에 비해 높은 비율을 보였으며, 담천공에서는 실험 측정값보다 낮은 비율을 나타냈다. 그리고 청천공인 경우, Relux의 시뮬레이션 결과 값이 다른 소프트웨어에 비해 실험 측정값과 유사한 비율을 보였으며, 담천공인 경우, 평균값과 최소값에 있어서는 Lightscape의 결과 값 비율이 실험 측정값과 다소 유사하였으며, 최소값은 Radiance의 결과 값이 실험 측정값과 다소 유사한 경향을 나타냈다. 또한 담천공인 경우 실험 측정값과 시뮬레이션 결과 값이 동지와 춘분, 그리고 시간에 상관없이 거의 일정한 값이 도출되었다.

이와 같이 실험 측정값과 시뮬레이션 결과 값의 차이는 실제 천공에 의한 조도 값과 시뮬레이션에서 사용하는 천공모델이 상이한 것에서 비롯되며, 특히 담천공인 경우 실험 측정값보다 시뮬레이션 결과 값이 낮게 나타나는 것은 시뮬레이션에서의 담천공은 직사일광이 존재하지 않지만 실제 담천공인 경우에는 약한 직사일광이 존재하기 때문이다.

그리고 시뮬레이션 결과 값을 직접성분과 간접성분으로 나누어 비교한 결과, 전체적으로 Lightscape의 시뮬레이션 결과 값이 다른 시뮬레이션 결과 값에 비해 높게 나타났으며, Radiance 시뮬레이션 결과 값이 가장 낮게 나타났다. 그리고 직접성분을 비교한 결과, 청천공일 경우에는 동지와 춘분, 그리고 시간에 따라 각 시뮬레이션의 결과 값이 서로 다르게 도출되었지만, 간접성분을 비교한 결과 동지와 춘분, 그리고 시간에 따른 각 시뮬레이션의 결과 값이 거의 동일하게 나타났다. 즉, 각 시뮬레이션의 결과는 간접성분을 계산하는데 사용되는 계산 알고리즘보다는 각 시뮬레이션에서 사용하는 천공모델에 따른 직접성분의 계산의 차이에 따른 것으로 보인다.

본 연구의 결과는 조명 시뮬레이션을 이용할 때, 적합한 시뮬레이션 소프트웨어의 선정에 관한 기초적 자료로 활용될 수 있다. 그리고 향후 연구에서는 소프트웨어별 조도계산 알고리즘을 분석하여 보다 구체적인 분석이 가능하도록 하고, 실제 크기에서의 주광 측정값과 시뮬레이션 결과 값을 비교·분석 한다면 조명 디자인 단계에서 좀 더 정확한 예측을 가능하게 할 것이다.

감사의 글

이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 『2단계 BK21 사업』의 지원비를 받았음.

References

- [1] Peter R. Boyce, Human Factors in Lighting, 2nd Edition, Lighting Research Center, 2003.
- [2] J. H. Heerwagen, D. R. Heerwagen, Lighting and psychological comfort, Lighting Design and Application 16 (4) 1986.
- [3] C. Cuttle, People and windows in workplaces, in: Proceedings of the People and Physical Environment Research Conference, Wellington, New Zealand, pp. 203-212, 1983.
- [4] 김유신, 원슬기, 박병철, 최안섭, 조명시뮬레이션 소프트웨어의 적합한 사용을 위한 기초적 연구, 한국조명전기설비학회논문지, 제21권 제8호, 2007. 9.
- [5] 김유신, 최안섭, 자연채광 유입에 따른 실내 조도의 적합한 예측을 위한 조명시뮬레이션 소프트웨어 비교 연구, 한국조명전기설비학회 춘계학술발표대회논문집, 2007. 5.
- [6] Lightscape User's Guide.
- [7] Relux User's Guide.
- [8] 송규동, 김지현, 최안섭, Radiance 프로그램과 인터넷 환경을 이용한 조명시뮬레이션 시스템 개발, 대한건축학회 논문집, 19권 4호, pp. 179-186, 2003.
- [9] 유기형, "몬테카를로 방법과 광선추적기법에 의한 아트리움의 자연채광 성능 예측에 관한 연구", 한양대학교 대학원 석사학위논문, 1997.12.
- [10] IESNA Lighting Handbook, Ninth Edition, Illuminating Engineering Society of North America, 1993.
- [11] 최안섭, 실내 조명계산에서의 Form Factor 계산메카니즘의 효율성과 정확성에 관한 연구, 대한건축학회논문지, 제18권 6호, 2002.
- [12] 기상청 홈페이지(www.kma.go.kr).

◆ 저자소개 ◆

김유신 (金有信)

1981년 1월 2일생. 2005년 세종대 건축공학과 졸업. 2007년 세종대 건축공학과 건축환경설비전공 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. 본 학회 이사.