

조명공식을 이용한 시뮬레이션도구의 정확성에 관한 연구

- 점조도 공식과 Lightscape 결과 비교를 중심으로 -

A Study on the exactitude of simulation tool by using illuminate formula

- Focused on the comparing result of Point method and Lightscapet -

김철훈* / Kim, Chul-Hoon

이정욱** / Lee, Jung-Wook

Abstract

This thesis is a study on the exactitude of Simulation Tool by using Illuminate formula. Lightscape looks like general 3d program, but is a lighting simulation Program that set up the properties of materials and light-sources about the model.

This thesis calculates illuminance by a formula and simulates a light simulation using Lightscape for two luminaires data in space of ideal environment . As then each value was compared. As a result we got an error under 1% on the whole.

키워드 : 점조도, 조명 시뮬레이션, 라이트 스케이프

Keywords : Point method, Lighting Simulation, Lightscape

1. 서론

1.1. 연구의 목적 및 의의

현대 사회는 태양을 광원으로 하는 자연채광과 전기적 설비를 필요로 하는 인공조명으로부터 빛을 공급 받는다. 현대 도시생활과 상업공간은 인공조명에 의해 활성화 되었으며, 기술력의 발달로 인하여 다양한 인공광원이 출현하였다. 그 결과 실내공간에서의 인공조명은 자연채광 이상의 역할을 담당하면서, 지금까지의 빛이 가졌던 소극적 개념을 탈피하여 색, 조형, 재료 등과 상호관계를 맺으며 실내 디자인의 새로운 요소로서 공간에 대한 특성을 만들고 있다.

또한, PC(Personal Computer)의 대중화와 관련 프로그램의 발전은 디자인 분야에 까지 영향을 주었고, 이는 기존의 디자인의 개념을 전달하고 발전시키기 위해 사용되었던 방법들을 점차 디지털도구를 이용한 방법으로 변화시키고 있다.

디지털 도구를 이용한 제도 및 3D 시뮬레이션은 조명분야에서 자연채광 및 인공조명을 사용한 빛환경의 조도·휘도분포에 대한 예측 수단으로 사용이 증가되고 있다. 이러한 사회현상의 변화는 기존의 교육방법을 넘어선 새로운 디자인 교육방법을 요구하게 된다.

따라서, 본 연구는 조명교육도구로서 3D Simulation 유용성에 대한 연구 이전 단계로써 조명 공식과 조명 시뮬레이션 프

로그래밍의 결과 비교를 통하여 시뮬레이션 프로그램의 정확성에 대하여 알아보기로 한다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 점조도 공식과 조명시뮬레이션 프로그램인 라이트 스케이프(Lightscape)¹⁾와의 비교를 통하여 조명시뮬레이션 프로그램의 정확성을 중심으로 실험되었다.

실험 대상공간의 크기는 W:1.2m×L:1.2m×H:2.4m <Type1> 와 W:2.4m×L:2.4m×H:2.4m <Type2>의 두 가지 형태로 설정하였다. 조도 측정점은 각 면과 동일평면상에 위치하며 면에 따른 기호²⁾를 부여하였고, 실험을 위한 모든 수치는 소수점 이하 3자리까지 표기하였으며, 점조도 계산의 사이각에 대한 수치는 삼각함수에 의해 결정하였다. 계산에 사용되는 광원은 포인트-아이소트로픽(Point-Isotropic)형식과 국내 D사의 DD-1007용 ies파일을 이용하여 진행하였고, 점조도 공식에서 포함하지 않는 반사광을 시뮬레이션에서 제외시키기 위한 방안으로 서페이스 프로세싱(Surface Processing)의 리시빙(Receiving)만 활성화 시켜 이상적 환경으로 설정 후 시뮬레이션 하였다.

1)1992년 Lightscape Technologies, Inc.에서 Windows 기반으로 개발된 조명분석 및 3D이미지를 만들 수 있는 가시화 도구. 1999년 4월 Ver.3.2 마지막으로 더 이상의 개발은 중지한 상태.

2)각 면에 대한 측정점의 기호는 다음과 같다.

바닥면-FL, 전면벽-WF, 좌측벽-WL, 우측벽-WR

* 정회원, 경원대학교 실내건축학과 석사수료

** 정회원, 경원대학교 실내건축학과 정교수

<표 1> 대상공간의 크기 및 조도 측정점

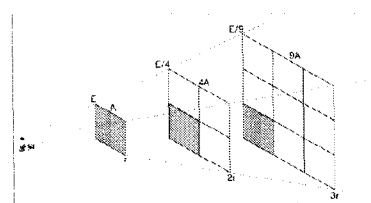
	단일조명공간-Type1	복수조명공간-Type2
FL		
WL		
WF		
WR		

2. 조명공식 및 조명시뮬레이션

2.1. 조명공식

(1) 거리 제곱의 반비례 법칙 과 입사각 여현의 법칙

점광원으로부터 거리가 멀어짐에 따라 동일량의 빛 에너지는 보다 넓은 구역에 조사되며, 그 조도는 감소하게 된다. 거리에 따른 광량의 감소는 <그림 1>과 같이 광원과 조사면사이의 거리가 2배 증가함에 따라 조사면적은 4배 증가하고, 조도는 1/4만큼 감소하였다. 또한 거리가 3배 증가함에 따라 조사면적은 9배 증가하고, 조도는 1/9만큼 감소하였다. 이러한 법칙을 거리 제곱의 반비례 법칙이라 한다.



<그림 1> 거리제곱의 반비례 법칙

또한, 각 만큼 기울어진 광선이 평면에 입사될 때, 광선을 받는 면의 조도는 수직으로 입사하는 광원에 대하여 $\cos \theta$ 배이며, 이를 cosine 법칙 또는 입사각 여현의 법칙이라고 하며, 이 법칙을 이용하여 평면상 임의의 점에 입사하는 점조도를 계산할 수 있다. 점조도 공식에는 법선 조도와 수평면 조도, 수직면 조도 등이 있다.

① 법선 조도 $E_n = \frac{I}{r^2}$ <수식 1>

② 수평면 조도 $E_h = E_n \cdot \cos \theta = \frac{I}{r^2} \cos \theta$ <수식 2>

③ 수직면 조도 $E_v = E_n \cdot \sin \theta = \frac{I}{r^2} \sin \theta$ <수식 3>

2.2. 조명 시뮬레이션 개념

컴퓨터 기술의 급속한 발달은 시뮬레이션 프로그램의 수준을 한 차원 높여 실내 환경에 대한 효과적 재구성을 가능하게 하였다. 컴퓨터 시뮬레이션은 시공전 디자이너가 의도하는 공간 모델을 이용하여 구성요소의 추가, 삭제 또는 편집이 무제한적으로 가능하여 실제 시공에서 생길 수 있는 경제적 손실을 예방할 수 있다는 이점이 있다.

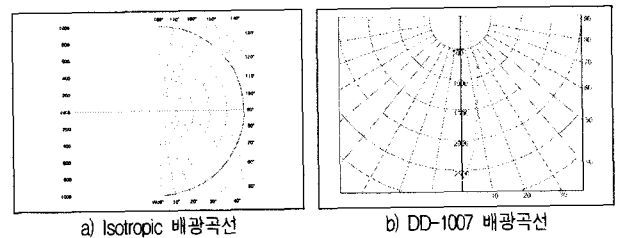
실내분야에서의 조명시뮬레이션 목적은 크게 두 분류로서, 하나는 공간을 계획함에 있어 시공전 조명 및 환경에 대한 여러 가지 요소들을 분석 및 예측하기 위한 방법이 있으며, 또 다른 하나는 시공후의 결과를 예측하여 상대방에게 미리 보여주기 위한 목적으로 사용된다. 두 가지 경우 모두 예측을 위한 목적으로 사용되어지나, 전자의 경우가 수치조명을 이용한 공간내 적정 조도·휘도 분포 등의 빛환경 분석을 시행하여 향후 유발될 수 있는 문제점에 대한 예방 및 확인 방법이라면, 후자의 경우는 비수치 조명을 이용하여 빛환경에 대한 분석적인 결과보다는 조명이 설치된 공간 연출 이미지를 보여주기 위한 수단으로 사용되어 인위적으로 조작된 결과를 보여준다.

3. 조명 시뮬레이션 프로그램의 정확성 검증

3.1. 점조도 공식과 시뮬레이션 결과 비교실험

(1) 실험1 - 단일조명 공간

본 실험은 대상공간 Type1에 Isotropic 형태의 광도1,000cd의 이상적 광원을 천정면과 동일평면상에 설치하여 실험을 진행하였으며, 측정 및 계산은 박스 내 기준축을 중심으로 동일한 측정값이 나오는 부분을 생략한, 대상공간의 1/4부분만 선정하였다. FL면 4개지점과 WF면 16개지점 총20개 지점을 선정하였다. 계산결과는<표 2>와 같이 최대오차는 FL면 0.000259%, WF면 41.421464% 결과를 나타내었다.



<그림 2> 실험에 사용된 광원의 배광곡선

<표 2> 실험01에 의한 이론적 조도와 시뮬레이션 조도의 비교

지 점	cd	r	이론조도(lx)	시뮬레이션 계산조도(lx)	오차율(%)
FL01	1000	2.483	156.788	156.788	0.000276
FL02	1000	2.446	163.914	163.914	0.000239
FL05	1000	2.446	163.914	163.914	0.000239
FL06	1000	2.409	171.596	171.596	0.000172
상 대 오 차 (%)					0.000141
WF01	1000	0.765	1676.206	1340.965	25.000002
WF02	1000	0.636	2399.569	2327.923	3.077665
WF05	1000	0.875	1120.906	896.724	25.000088
WF06	1000	0.765	1382.235	1340.965	3.077643
WF09	1000	1.061	628.539	502.832	24.999873
WF10	1000	0.972	673.237	653.136	3.077621
WF13	1000	1.290	349.092	279.274	24.999824
WF14	1000	1.219	341.764	331.560	3.077507
WF17	1000	1.544	203.624	162.899	25.000074
WF18	1000	1.485	188.887	183.248	3.077431
WF21	1000	1.812	125.967	100.774	24.999911
WF22	1000	1.762	113.038	109.663	3.077337
WF25	1000	2.089	82.240	65.792	25.000515
WF26	1000	2.046	72.239	70.082	3.078013
WF29	1000	2.372	56.218	44.975	24.998932
WF30	1000	2.333	48.676	47.223	3.077843
상 대 오 차 (%)					11.705001

(2) 실험02 - IES파일을 이용한 단일조명 공간

실험1과 동일한 환경에서 DD-1007용 ies파일을 설치하여 실험을 진행하였다. 계산결과는<표 3>과 같이 최대오차 FL면 0.000574%, WF면 25.013963% 결과를 나타내었다.

<표 3> 실험02에 의한 이론적 조도와 시뮬레이션 조도의 비교

지 점	cd	r	이론조도(lx)	시뮬레이션 계산조도(lx)	오차율(%)
FL01	1082.060	2.483	169.654	169.654	0.000263
FL02	1387.800	2.446	227.479	227.478	0.000574
FL05	1387.800	2.446	227.479	227.478	0.000574
FL06	2220.970	2.409	381.110	381.110	0.000058
상 대 오 차 (%)					0.000237
WF01	1.000	0.765	1.676	1.341	24.996740
WF02	1.001	0.636	2.400	2.328	3.074256
WF05	3.318	0.875	3.719	2.975	25.013963
WF06	7.943	0.765	10.979	10.651	3.080401
WF09	28.000	1.061	17.599	14.079	25.002501
WF10	44.946	0.972	30.259	29.356	3.077096
WF13	66.090	1.290	23.071	18.456	25.008078
WF14	191.355	1.219	65.398	63.446	3.076961
WF17	249.285	1.544	50.760	40.608	25.000927
WF18	482.108	1.485	91.064	88.345	3.077812
WF21	492.040	1.812	61.981	49.585	24.999505
WF22	738.070	1.762	83.430	80.939	3.077299
WF25	107.050	2.089	58.148	46.518	25.001143
WF26	907.900	2.046	65.586	63.628	3.077119
WF29	861.700	2.372	48.443	38.755	24.998795
WF30	1044.370	2.333	50.836	49.318	3.078437
상 대 오 차 (%)					10.831213

(3) 실험03 - 복수 광원 공간

대상공간 Type2를 이용하여 실험을 진행하였으며, 실험환경은 단일 조명 공간과 동일한 조건으로 설정하였다. 광원위치는 L10지점에 광도1,000cd 와 L07지점에 광도500cd의 Isotropic형

태 광원을 천정면과 동일평면상에 각각 설치하여 시뮬레이션 하였다. 측정 및 계산은 박스내 기준축을 중심으로 동일한 측정값이 나오는 부분을 생략한 대상공간의 1/2부분만을 선정하여, FL·WL·WR면의 각8개지점과 WF 16개지점, 총40개 지점을 선정하였다. 계산결과 <표 4>와 같이 최대 오차는 FL면 0.000197%, WL면 66.501720%, WR면 45.914121% WF면 34.811555%결과를 나타내었다

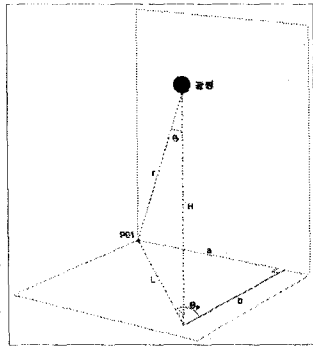
<표 4> 실험03에 의한 이론적 조도와 시뮬레이션 조도의 비교

지 점	이론 계산조도(lx)	시뮬레이션 계산조도(lx)	오 차 율(%)
FL01	185.449	185.449	0.000156
FL02	199.491	199.491	0.000145
FL03	189.527	189.527	0.000197
FL04	161.442	161.442	0.000133
FL05	217.834	217.834	0.000120
FL06	235.598	235.598	0.000080
FL07	222.527	222.527	0.000137
FL08	186.998	186.998	0.000107
상 대 오 차 (%)			0.000001
WL03	1834.764	1654.33	10.906775
WL04	884.234	531.066	66.501720
WL07	582.613	531.066	9.706292
WL08	482.152	299.356	61.063140
WL11	220.425	203.52	8.306084
WL12	234.656	151.782	54.600898
WL15	104.983	97.797	7.348224
WL16	122.954	82.095	49.770696
WR01	621.296	425.796	45.914121
WR02	1133.776	1040.61	8.952973
WR05	381.951	275.681	38.548261
WR06	453.780	425.796	6.572169
WR09	212.779	161.24	31.963911
WR10	214.044	204.179	4.831778
WR13	122.816	95.91	28.053006
WR14	116.050	111.592	3.994840
상 대 오 차 (%)			22.751102
WF01	730.583	663.623	10.090083
WF02	809.418	749.601	7.979839
WF03	718.998	626.232	14.813305
WF04	561.328	454.274	23.565947
WF05	446.174	398.095	12.077310
WF06	485.672	447.332	8.570816
WF07	453.006	391.802	15.621114
WF08	374.010	293.328	27.505785
WF09	234.654	204.729	14.616663
WF10	246.877	226.138	9.170808
WF11	241.289	207.35	16.368204
WF12	216.843	164.532	31.793938
WF13	127.104	108.917	16.698437
WF14	129.077	117.799	9.574315
WF15	129.993	111.263	16.834415
WF16	126.047	93.499	34.811555
상 대 오 차 (%)			14.691614

3.2. 실험결과에 따른 수직점조도 오차원인 및 보정

실험결과 모든 실험의 수평면 조도의 오차는 약 0%로 시뮬레이션 결과와 이론계산 결과는 동일하다고 판단할 수 있으나, 수직면 조도계산결과는 오차가 크게 나타나고 있어 본 실험과정에서의 오류가 있음으로 판단하고, 다음과 같은 과정을 거쳐 수직면 조도에 따른 재검증 단계를 거치게 되었다.

먼저, 오차율이 나타나고 있는 수직면 조도계산에 있어 시물레이션 상에서의 계산 방법과 이론적 계산방법에 대한 차이를 알아보고자 광원의 Y축 기준으로 공간을 90°회전시킨후 <수식 2>를 이용한 계산에서 결과값은 오차를 보이지 않았으나, <수식 3>을 이용한 계산에서는 계속하여 오차가 발생하였다. 이러한 오차가 발생하는 이유로는 <수식 3>이 가지고 있는 특성에 의해 나타나는 것으로 판단하였다. 수직면 조도 공식 <수식 3>은 광원에 대한 수직선상의 점을 기준으로 계산하게 되어있으며, 수직선상을 벗어난 측정점에 대해서는 그에 따른 수식의 변화가 필요하였다. 따라서, 수직선상을 벗어난 임의의 점 수직면 조도 계산시 측정점이 속해 있는 수직면이 각 θ_p 만큼의 회전으로 가정한 후 <수식 3>에 $\cos\theta_p$ 값을 적용하여 아래와 같이 수식을 완성하였다.



<그림 4> 수직점조도 공식

P01점에서의 수직조도 E_{v01} 는

$$E_{v01} = \frac{I}{r^2} \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta_p \quad \text{<수식 4>}$$

$$\therefore E_{v01} = \frac{I}{r^2} \cdot \frac{L}{r} \cdot \frac{b}{L} = \frac{I}{r^2} \cdot \frac{b}{r} = \frac{I \cdot b}{r^3} \quad \text{<수식 5>}$$

수식의 검증을 위하여 실험01의 수직면 조도를 <수식 5>를 이용하여 재계산 하였으며, 계산결과는 <표 5>와 같다.

<표 5> 수식05에 의한 실험01 수직면 조도와 시물레이션 조도의 비교

지점	cd	b	r	수식2조도 (lx)	수식5조도 (lx)	시물레이션 조도 (lx)	수식2의 오차율(%)	수식5의 오차율(%)
WF01	1000	0.6	0.765	1676.206	1340.965	1340.965	25.000002	0.000002
WF02	1000	0.6	0.636	2399.569	2327.924	2327.923	3.077665	0.000024
WF05	1000	0.6	0.875	1120.906	896.725	896.724	25.000088	0.000070
WF06	1000	0.6	0.765	1382.235	1340.965	1340.965	3.077643	0.000002
WF09	1000	0.6	1.061	628.539	502.831	502.832	24.999873	0.000102
WF10	1000	0.6	0.972	673.237	653.136	653.136	3.077621	0.000019
WF13	1000	0.6	1.290	349.092	279.274	279.274	24.999824	0.000141
WF14	1000	0.6	1.219	341.764	331.560	331.560	3.077507	0.000129
WF17	1000	0.6	1.544	203.624	162.899	162.899	25.000074	0.000059
WF18	1000	0.6	1.485	188.887	183.248	183.248	3.077431	0.000203
WF21	1000	0.6	1.812	125.967	100.774	100.774	24.999911	0.000071
WF22	1000	0.6	1.762	113.038	109.663	109.663	3.077337	0.000294
WF25	1000	0.6	2.089	82.240	65.792	65.792	25.000515	0.000412
WF26	1000	0.6	2.046	72.239	70.082	70.082	3.078013	0.000361
WF29	1000	0.6	2.372	56.218	44.975	44.975	24.999932	0.000855
WF30	1000	0.6	2.333	48.676	47.223	47.223	3.077843	0.000196
상대 오차 (%)							11.875141	0.000008

계산결과 <수식 2>를 이용한 상대오차는 11.875141%이며, <수식 5>를 이용한 상대오차는 0.000008%의 결과를 보였다. 이와 같이 수직면 조도 계산에서 광원의 수직선상을 벗어난 점은 <수식 5>를 이용하여 계산시 정확한 결과를 도출할 수 있다.

4. 결론

본 연구는 조명 시물레이션 프로그램인 Lightscape를 이용하여 조명교육 도구로서의 효용성에 대한 평가전 단계로 조명이론과의 비교를 통한 Lightscape의 정확성을 평가한 것이다. 검증을 위한 실험은 이상적 환경의 공간을 선정하여 점조도 공식과 Lightscape 시물레이션 결과를 비교하였다.

각 실험결과 Lightscape는 이론적 계산값과 상대오차를 이용하여 확인결과 약0%의 값을 도출하고 있어, 점광원계산에 있어 Lightscape의 정확성은 검증되었다.

하지만, Lightscape가 가지고 있는 한계성에 대해서도 알아야 할 것이다. 현재 많은 광원이 출현하고 있으나, 그에 따른 지원은 거의 미비한 수준이며, 개발 중단에 따른 버전업은 기대하기 힘든 상태이다. 또한, 분석방법 및 결과 도출은 전문가 집단에서 사용하기에는 많이 부족하나, 기본적 조명지식을 전달하는 교육현장에서의 효용성은 높다. Lightscape를 이용하여 대학내 교육에서 조명교과목과 타 교과목간의 연계성을 통하여 공간에 대한 사실적 결과물을 도출할 수 있고, 수치적 분석을 통하여 이론적 결과값에 대한 검증도구로서의 역할은 충분하다.

향후 본 연구는 계측기를 통한 실제공간의 측정과 Lightscape 결과에 대한 비교실험을 통하여 도구의 효용성을 검증하고, 현재 대학내 조명교육현황과 전문가 집단의 설문 등을 통한 결과 비교 분석 후 디지털 도구를 이용한 조명 교육방법까지 진행할 것이다.

참고문헌

- M.David Egan, Concepts in Architectural Lighting, 건축조명개론, 박종호, 1판 3쇄, 기문당, 서울, 2000
- 정태관, 조명 원리와 응용, 1판 1쇄, 북스틸, 서울, 2005
- 문광명·이춘수, 조명디자이너, 태영문화사, 서울, 2004
- 양혜인, RADIANCE 프로그램에 의한 빛환경 설계 및 평가의 타당성 검증, 한양대 석사논문, 2000
- 문기훈, 자연채광 성능평가 도구로서 Lightscape 효용성 연구, 경희대 박사논문, 2003
- 강정훈·이안, 디지털 매체를 이용한 디자인 진행방법에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 통권 176호, 2003.06
- Autodesk Inc., Lightscape Userguide, 1999
- 홍의재·박영재, Lightscape Reality, 디지털북스, 서울, 2002