

## \*\*\*자연채광 성능의 가시화도구로서 LIGHTSCAPE의 유용성 평가

## Validity of LIGHTSCAPE As a Visualization Tool for Daylighting Performance

문기훈\* / Moon, Ki-Hoon

김정태\*\*/ Kim, Jeong-Tai

## Abstract

Computer simulation is one of the most useful techniques to predict daylighting performance and present visual image. In architectural and interior design practice, the Lightscape is commonly used often to produce persuasive images rather than physically accurate results. Therefore, this study is to validity the Lightscape as daylighting evaluation tool, in particularly performance and realistically visualization.

For the purpose, an evaluation test model (12.0m×7.2m×3.0m) of side lighting window with lightshelf was selected. A 1:6 scale plywood physical model was made. Under clear sky condition, illuminance of 84 interior point were measured. Lightscape was run on a 750 MHz Pentium PC running Windows 2000 under the same sky condition. And a photography image was compared to rendering image.

The physical results of interior illuminance were within 8% between the scale model and Lightscape simulation. There were no differences between the photograph image and rendering image by Lightscape in the sight. Lightscape as visualization tool for daylighting performance was validated.

키워드 : Lightscape, Daylighting Performance, Visualization, Lightshelf

## 1. 서론

## 1.1. 연구의 목적

현대 건축물에 있어서 자연채광은 조명에너지의 절약 뿐만 아니라 작업성능을 향상시키고, 실내환경의 쾌적성과 분위기 연출에 큰 영향을 미치므로 대부분의 건축물에서 자연채광은 다양한 방법으로 이용되고 있다.

그러나 자연광을 적극적으로 이용하도록 설계된 건축물이 실제로는 때로는 잘못 적용되어 에너지를 과다하게 소비시키거나 혹은 재실자에게 시각적, 열적으로 불쾌감을 조성시키기도 한다. 그 이유는 자연채광의 경제성과 환경성능을 초기 디자인 단계에서 쉽게 예측할 수 있는 간단하고 이용하기 쉬운 기법들이 많지 않았기 때문이다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근 자연채광의 성능을

계량화하고 가시화(可視化)할 수 있는 다양한 기법들이 개발되고 있다. 대표적인 것으로서 축소모형실험과 컴퓨터 시뮬레이션이 자연채광의 성능을 예측하는 데 유용한 방법으로 인식되고 있다. 그러나, 축소모형으로 실험을 하는 데는 여러 가지 제한이 있어 컴퓨터 시뮬레이션이 최근에 많이 이용되고 있다.

자연채광에 관한 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 프로그램으로서 Lightscape, Lumen Micro, Adeline 등 다양한 것이 이용되고 있다. 이 중에서 Lightscape는 다른 프로그램에 비해 사용성, 편의성 및 가시성(可視性)이 뛰어난 것으로 인식되고 있다.

따라서, 본 논문은 실내의 자연채광성능에 관한 물리량을 평가하고 예측할 경우 가시화(可視化) 도구로서 Lightscape의 유용성을 평가하는 데 연구목적이 있다. 이 경우 Lightscape의 효용성이 검증된다면 디자이너들에 있어서 초기 설계안의 채광성능을 평가하는 도구로서 유용하게 활용될 것이다.

## 1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 광선반이 설치된 측창을 중심으로 축소모형에 유입되는 자연채광의 주광조도를 측정하고 Lightscape 프로그램

\* 정희원, 경희대학교 채광조명시스템연구실, 공학박사

\*\* 정희원, 경희대학교 채광조명시스템연구실, 공학박사

\*\*\* 이 논문은 과학기술부 국가지정연구실 사업의 연구비 지원에 의한 연구결과의 일부임(과제번호M1-0104-00-0272)

램을 통한 시뮬레이션과 비교하였다. 또한, 축소모형의 사진과 Lightscape에서 생성된 이미지를 비교하여 컴퓨터 시뮬레이션에서 생성된 수치적인 결과 값이 가시화되어 실사적인 이미지를 생성하는데 정확히 반영되었는지를 비교하였다. 구체적인 본 연구의 내용 및 방법은 아래와 같이 진행되었다.

① 문헌고찰을 통하여 자연채광의 물리량 평가 및 가시화 방법인 축소모형실험과 컴퓨터 시뮬레이션의 방법을 이론적으로 고찰하였다.

② 자연채광 조도예측의 효용성 검증을 위하여 Lightscape의 기본 구성과 시뮬레이션의 흐름을 고찰하였다.

③ 본 연구를 위한 평가모델로서는 광선반이 설치된 측창으로 이루어진 실내공간을 선정하였다. 일반 측창은 내부공간의 주광조도 분포가 너무 단순하여 빛환경 변화가 다양한 광선반이 설치된 측창을 평가대상으로 하였다.

④ 평가대상 공간은 Lightscape에서의 변수 및 물리적 특성을 실제에 가깝게 설정하였으며, 이에 따라 축소모형과 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다

⑤ 청천공 상태에서 실시된 축소모형 실험에서의 실측값과 컴퓨터 시뮬레이션 결과에서 얻어진 정량적인 값을 비교하여 Lightscape의 유용성을 평가하였다.

⑥ 축소모형에서 촬영한 사진과 컴퓨터 시뮬레이션에서 가시화된 이미지를 비교하여 Lightscape의 유용성을 평가하였다.

⑦ 자연채광 가시화 도구로서의 Lightscape의 한계에 대하여 서술하였다.

## 2. 자연채광의 예측 및 가시화 방법

### 2.1. 축소모형 실험

축소모형 실험은 실제 건축물과 유사한 내부표면, 가구, 재질감, 그리고 건축재료 등을 사용하여 제작된 모형을 이용하여 실내의 채광특성을 측정하고 분석하여 실내공간의 채광특성을 예측하는 기법이다. 이 기법은 다양한 설계조건에 따른 건축물의 채광성능을 초기 디자인 단계에서 쉽게 예측할 수 있어, 건축가와 관련 전문가들에게는 매우 효과적인 자연채광 설계가 가능하다. 또한 축소모형의 정밀도에 따라 매우 신뢰성 높은 측정 데이터를 얻을 수 있다.

그러나 모형기법의 여러 장점에도 불구하고 축소모형 실험은 모형제작의 한계 상 그 결과의 유용성이 특정한 프로젝트나 건물에 한정되는 단점을 지니고 있다. 이를 보완하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션 등 수치적 해석방법에 의한 기법과 병용하는 것이 필요하다.

### 2.2. 가시화를 위한 컴퓨터 시뮬레이션

컴퓨터 시뮬레이션의 가시화에 있어서 음장(音場)이나 열의

분포를 가시화 하는 것은 원래 보이지 않는 것을 가시화 하는 것이지만, 빛환경의 가시화는 본래 보이는 것을 가시화 하는 것이다. 빛환경의 가시화로는 자연채광 성능평가를 위한 가시화, 여러 가지의 광학적 현상의 시뮬레이션 결과의 가시화, 건조물 등의 완공후 환경평가의 가시화를 말한다.

건축물의 설계과정에 있어서 빛환경이나 시각적 환경의 가시화는 중요한 의미를 갖는다. 즉 계획·설계단계에 있어서 건축물은 실재(實在)하지 않기 때문에 건축후의 조명효과를 예측할 수 있는 가시화기술이 필요하다. 일반적으로 음환경 등은 공간 중에 분포하는 장소에 대하여 가시화를 하지만, 빛환경은 벽 등의 이차원 평면 또는 곡면상의 반사광의 분포를 가시화 한다. 물론, 대기에 의한 산란·흡수효과까지 고려할 때는 공간중의 빛의 분포까지 표현한다.

가시화는 Computer Graphic(이하 CG로 표현)의 발전에 의거 크게 진보했다. CG는 당초에 보이지 않는 부분을 제거하여 표시하는 은면소거(隱面消去), 원근법을 표현할 수 있는 좌표변환, 삼차원 자료의 표현법(Modeling이라 한다)등의 연구가 진행되어졌다. 주로 실사(photo realistic)적인 화상(畫像)을 생성하는 것이 연구의 주류를 이루고 있다.

그 흐름은 CG에 관련한 세계최대의 회의 SIGGRAPH에서 현저하게 드러나 있으며 조명효과에 관한 Shading Model의 논문이 상당히 증가하고 있다. 또한 반사·굴절이 표현되는 Ray Tracing(광선추적)법에 관한 연구발표도 많다. Radiosity(광속전달)법은 빛의 상호반사광까지 계산할 수 있으며 유한요소법에 유사한 해법에 의거 상호반사를 포함하는 전체적 조명효과가 계산된다.

삼차원 CG의 기본적인 처리과정은 Modeling(형상데이터의 작성), Rendering(은면소거 등), Shading에서 이루어진다. 이 과정에서 여러 종류의 조명효과가 계산된다. 예전에는 실제의 물리현상과는 다르게 되어 있는 것도 많았지만 최근에는 물리적 법칙에 근거한 모델이 개발되고 있다.

종래의 조명설계에서는 계산한 조도의 수치 자료를 평면도상에 등고선으로 묘사하여 표현하는 방법을 주로 이용하였다. 이 방법이 설계 의뢰자 등 조명기술자 이외의 사람들에게는 이상적인 설계결과가 어떠한 결과를 나타내는지 판단하기가 어려웠다. 또한 전문가들도 필요한 조도가 확보되었는지는 판단할 수 있지만 조명효과를 포함한 분위기를까지는 예측하기가 어려웠다.

최근에는 Photo Realistic한 화상생성이 일반화되고 있다. Photo Realistic한 화상생성을 위해서는 광학적 효과를 충실히 모델화하는 물리법칙이 중요하다. 즉 현실적인 화상생성에는 정확도가 높은 조명계산이 반드시 필요하다. 이 조명효과를 표현하는 모델을 음영모델(Shading Model) 또는 광모델(Lighting Model)이라 한다. 이 모델은 광원의 종류(기하학적 현상, 스펙

트럼(spectrum, 殘像), 그림자, 반사(확산반사, 경면반사), 투과·굴절, 간접광(상호반사광), 대기산란 등의 빛환경 구성요소로부터 이루어진다.

광원의 종류에 대하여는 평행광선, 점광원 뿐만 아니라, 면광원, 곡면광원, 천공광의 계산으로 발전하고 있다. 어떤 면(面)에서의 휘도를 계산할 때 계산 점만의 반사·굴절을 계산하는 것을 Local Illumination Model이라 하며, 다른 면으로부터의 영향(즉 간접광)까지 고려하는 것을 Global Illumination Model이라고 부른다. 최근 주목되고 있는 것은 후자의 상호반사계산(광속전달, Radiosity)이다. 이것에 관하여 많은 방법이 개발되고 하드웨어의 진보에 의해서 Radiosity의 계산은 일반화되고 있다.

옥외에 있어서는 종래 태양의 직사광(즉 평행광선)만으로 조사(照射)된 CG화상이 생성되고 있었지만 근래에는 주광조명으로 천공광을 고려하는 방법도 개발되었다. 옥내조명의 예측에는 광원의 특성과 상호반사가 중요하며 옥외 또는 창으로부터의 채광에 있어서 천공광은 빠질 수 없는 요소이다. 현재는 이러한 조명효과를 계산할 수 있을 뿐만 아니라 현실적인 화상 생성도 가능하게 되었다.

### 2.3. 채광성능 평가도구로서의 Lightscape에 대한 고찰

#### (1) Lightscape 프로그램의 개요

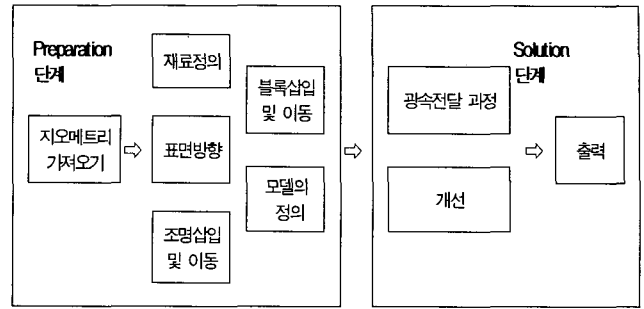
Lightscape Technology에서 개발하여 1993년에 판매를 시작한 프로그램으로서, 현재는 Autodesk에서 판권을 보유하고 있으며 조명을 렌더링하고 시뮬레이션할 수 있는 프로그램이다. 즉, 광속전달과 광선추적을 함께 사용하여 3차원 이미지를 만들 수 있는 가시화 도구이다. 입출력 기능이 다양하며, 복잡한 형태의 재질을 이미지 파일을 이용하여 현실적인 표현이 가능하고, 화면상에서 대화식의 연속적인 표현이 가능하다.

Lightscape 프로그램은 Windows환경의 PC에서 실행될 수 있으며, 자연채광과 인공조명에 의한 빛환경의 정량적, 정성적 평가를 동시에 가능하게 할 수 있는 상용화된 컴퓨터 프로그램이다.

Lightscape는 3차원 모델 혹은 객체를 이용하여 정의된 조명과 재료를 광속전달과 광선추적기술을 사용하여 이미지를 만드는 가시화 응용도구로서, 정밀하고 의미 있는 조명효과를 얻을 수 있으며 사실성(事實性) 있는 이미지를 만들어 낼 수 있다. 또한, 실제의 측정값을 이용하여 조명을 설치할 수 있으며, 빛의 분포와 칼라특성 혹은 조명계조회사로부터 특정한 광도 측정 파일을 직접 불러들여 조명기구를 만들 수 있다. 그리고 날짜, 시간, 위치를 지정하여 특정 자연광을 표현할 수 있다.

Lightscape의 진행과정은 Preparation 단계와 Solution 단계 등 두 개의 단계로 구성된다.

Preparation 단계에서 모델을 가져오거나 표면의 향을 조절



<그림 1> Lightscape의 작업 흐름도

할 수 있으며 표면에 재료를 정의하고 지정할 수 있다. 또한 모델에 조명기구들을 정의하고 위치를 지정할 수 있으며 추가하거나 삭제하고 요구에 따라 재위치 시킬 수 있다. 블록과 조명자료는 물론이고 다양한 캐드와 모델링 응용프로그램에서 모델을 가져올 수 있다.

현실적인 결과를 얻기 위하여 조명과 상호 작용하는 각각의 표면에 정확한 재료의 설명이 제공되는 것이 중요하다. 템플레이트는 금속, 다듬어진 석재, 평평한 페인트, 물 등의 다수의 재료를 포함한 속성을 정의하기 쉽게 만든다. 재질 맵과 표면의 외관을 강화시키는 프로시저 맵을 사용할 수 있다.

인공조명과 자연광을 모델에 추가시킬 수 있다. 라이브러리 혹은 자신이 만든 조명기구들을 사용할 수 있으며 조명기구들의 광축정 속성을 조절하고 모델에 위치시킬 수 있다. 또한 조명계조사로부터 실제 조명변수를 불러들여 IES 파일을 사용할 수 있다. 자연광은 태양과 천공 두 가지로 제공된다.

Solution 단계에서는 모델에 빛의 전달을 어떻게 할 것인지 정확하게 계산하기 위하여 광속전달을 진행한다. 모델에 광속전달을 진행하기 위한 시작명령이 내려지면 더 이상 입체를 조작하거나 조명을 추가할 수 없다. 광속전달 프로세스의 진행도중 여러 가지 변수의 설정을 정의하고 최종결과를 얻기 위한 광속전달과정을 다시 시작 할 수 있다.

Solution 단계에는 모델의 입체를 변경할 수 없으며 조명기구의 광도측정변수나 재료의 특성을 변경할 수 있다. 변경을 하면 정지시킨 곳에서부터 진행을 계속하거나 시작부터 진행을 다시 시작하여 광속전달의 결과를 갱신 할 수 있다. 광속전달의 실행결과는 Solution파일(.Is)로 저장한다.

출력단계에서 OpenGL 렌더링을 이용하여 광속전달을 렌더링할 수 있고 광선추적을 이용하여 정확성을 높일 수 있다. 광선추적은 최종이미지에서 경면반사와 투과효과를 추가할 수 있으며 전체모델 혹은 특정 광원에서 광선추적을 사용하여 높은 질의 그림자를 만들 수 있다.

광속전달과정에서 Walkthrough 애니메이션을 생성하기 위한 카메라 경로를 만들 수 있으며, OpenGL 렌더링에서 안티알리아스된 이미지를 생성할 수 있다. 경면반사나 정확한 투과효

과를 위하여 각각의 프레임에 광선추적 할 수 있다.

(2) Lightscape를 이용한 빛환경의 성능평가

Lightscape는 실제적인 빛환경을 생성하기 위하여 Radiosity와 Ray Tracing 두 개의 전반조명 알고리즘을 이용한다. 자연채광의 계산은 IES RP-21 "Calculation of daylight availability"를 사용한다. IES RP-21에서는 Time Zone과 태양의 위치, 고도, 방위각을 정의하고 있으며 직사일광, 천공광, 천공의 상태 등을 정의하여 컴퓨터 프로그램에 사용할 수 있도록 공식화되어 있다.

Radiosity과정을 실행한 후 모델이 표면 위 빛의 분포를 가시화 하는 데 조명분석을 사용한다. 휘도 혹은 조도를 모델의 표면에서 pseudo-coloring기술을 사용한 빛의 분포를 보거나 선택된 표면 위에 조도 값을 첨가할 수 있다. 조명통계분석은 모델이 표면에 한 점을 선택할 때마다 표면 위의 점에 관한 통계정보가 표시되어 진다. 통계정보는 위치점, 평균, 최대와 최소 등이 있다.

선택된 표면의 휘도 혹은 조도값을 일정간격으로 표시하는데 정확도, 원점, 그리드, 조명위치의 간격변수를 조절 할 수 있다.

3. 축소모형실험 및 시뮬레이션 개요

광선반이 설치된 측창형 실내공간의 작업면 주광조도를 분석하고 가시화를 위하여 축소모형을 제작하고, 청천공 상태에서 실 내부의 주광조도를 측정하였다.

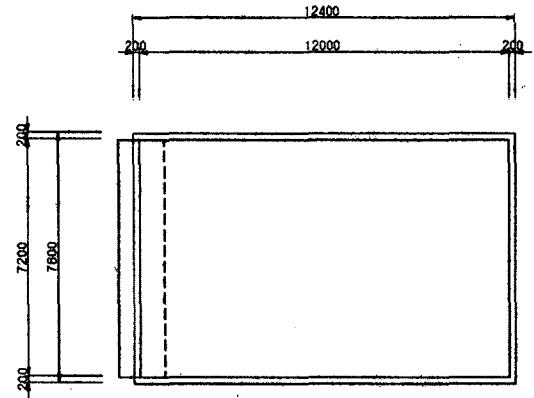
3.1. 평가대상모델 및 측정개요

대상건물은 정남향의 측창에 광선반이 설치된 12m(실 길이)x7.2m(실 폭)x3m(천정 높이)의 실내공간을 1/6로 축소 제작하였다. 모형은 합판을 이용하였으며 조립, 분해 및 높이조절을 쉽게 하기 위하여 외부에 철재 앵글을 사용하였다. 내부 벽의 재료는 나무문양의 벽지를 부착하였고 바닥에는 카펫 타일을 이용하였다. 광선반과 천정은 흰색 수성페인트를 사용하였고 갈아내기 작업을 하여 평편도를 높였다. 모형의 접합부분에 빛의 차단을 위하여 은색 호일테이프를 부착하였고 축소모형의 창측의 높낮이 조절을 위하여 앵글하부에 자동차용 잭(Jack)과 잭 핸들을 설치하였다. 모형실험은 외부의 영향을 최소화하기 위하여 K대학교 공대 옥상에서 실시하였다.

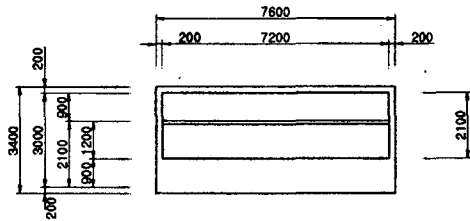
측정도구는 실내 및 외부의 조도측정을 위하여 LI-COR사의 LI-210SA Photometric Sensor를 사용하였으며, 데이터 기록계는 LI-COR사의 LI-1400 DataLogger를 사용하였다. 각 재료의 반사율 측정은 Minolta사의 Spectrometer-CM503을 이용하였다. 측정은 2002년 6월6일~14일 사이에 청천공 상태에서 정오

를 기준으로 실행하였으며 측정시간 동안의 방위각의 변화는 수평면 일영곡선을 이용하여 보정하였다.

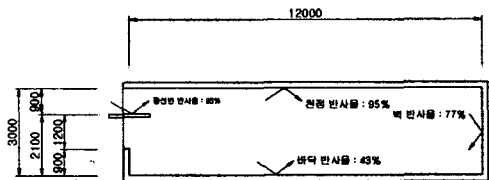
축소모형의 내부에 바닥으로부터 85cm높이의 작업면에 총 84개 측정점과 옥외 1개 지점에서 광선반의 크기별(1.2m, 1.5m, 1.8m)로 각각 주광조도를 측정하였다. 사진촬영은 모형 안쪽벽에 조립식의 개구부를 이용하였으며 촬영시 개구부의 빛의 차단을 위하여 암막을 설치하였다.



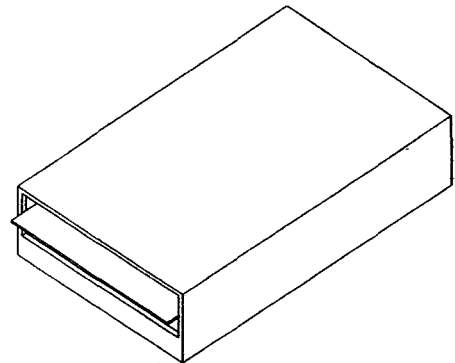
(a) 평면도



(b) 정면도



(c) 단면도



(d) Isometric

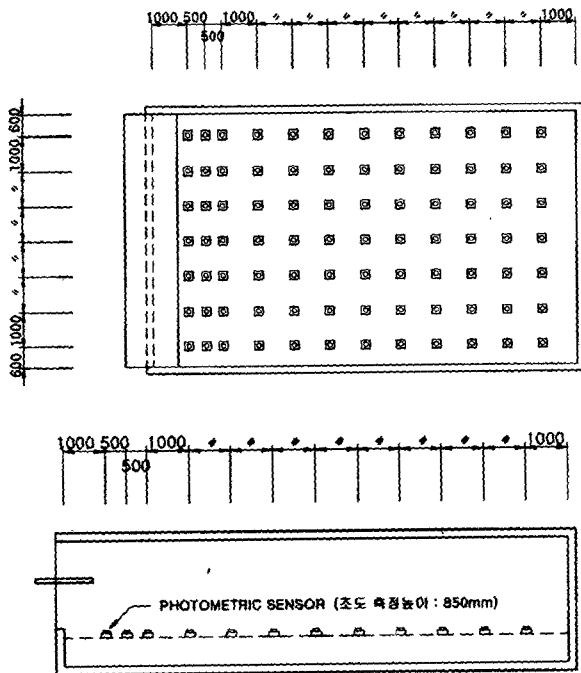
<그림 2> 평가대상모델의 형상과 치수

### 3.2. 축소모형 실험개요

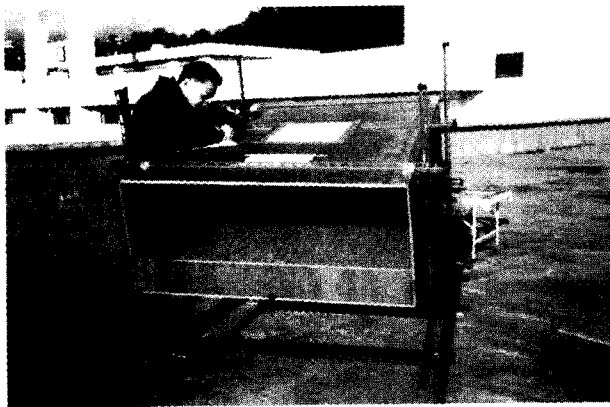
본 연구에서 광선반형 측창이 설치되어 있는 실내공간을 설정한 이유는 축소모형 실험을 통하여 주광조도를 측정하고 이 값을 Lightscape 시뮬레이션 값과 비교하는 것이다. 따라서 가능한 측정점이 많도록 하였다. 즉, 실 폭의 중앙을 대칭으로 하여 실 폭 7열, 실 깊이로 13행 등 모두 84개의 측정점을 설정하였다.

실내의 주광조도 측정은 가능한 동일한 천공상태에서 실시하기 위하여 각 행별로 일제히 실시하여, 천공상태에 따른 오차를 최소화하도록 하였다.

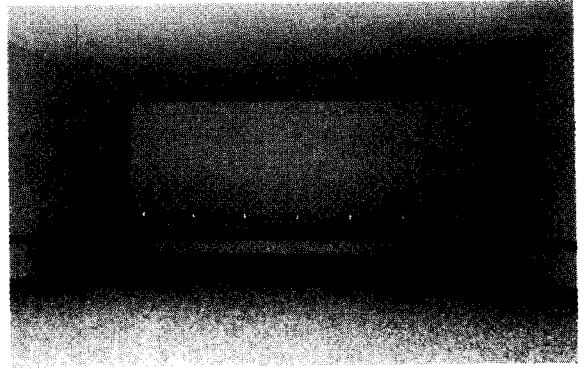
옥외의 조도측정을 위하여 외부에 1개의 Photometric Sensor를 설치하고, 내부에는 7개의 Photometric Sensor를 이용하여 행별로 주광조도를 측정하였다. 평가대상모델 및 측정개요는 <표 1>과 같으며, 센서의 설치위치는 <그림 3>과 같다.



<그림 3> Photometric Sensor 배치도



(a) 축소모형의 설치모습



(b) Photometric Sensor가 설치된 내부모습

<그림 4> 축소모형의 설치 및 내부모습

<표 1> 평가대상모델 및 측정개요

구 분		내 용	
대상건물의 치 수	실내크기	7.2m(폭)x12m(깊이)x3m(높이)	
	개구부크기	7.2m(폭)x2.1m(높이)	
축소모형 개 요	Scale	1/6 (1.2m×2m×0.5m)	
	실 내 마감재료 및 반 사 율	천정	백색 페인트 (반사율 95%)
		벽	벽지 (반사율 77%)
		바닥	카펫타일 (반사율 43%)
	광선반 표면 마감	백색페인트 (반사율 95%)	
	광선반 설치 높이	2100mm	
	광선반의 크기	1200mm (내부 : 900mm, 외부 300mm)	
1500mm (내부 : 900mm, 외부 600mm)			
1800mm (내부 : 900mm, 외부 900mm)			
측정위치	위치 및 향	서울, 위도 37, 경도 -127, 남향	
측정시간	시간	GMT +9 Japan, Korea 12:00, 정오	
	월/일	3/21	
측 정 점	측 정 점	작업면 85cm	

### 3.3. Lightscape 시뮬레이션 개요

AutoCAD에서 Solid Modeling기법을 사용하여 정확한 치수를 갖는 모델링을 하였다. Solid Modeling은 천정, 벽, 바닥부위 등이 하나의 객체로 이루어져있어 Layer분리가 어려우므로 Explode 명령을 사용하여 각각의 면을 분리하였다. 재료별로 Layer 및 Color를 설정하였는데, 이것은 Lightscape에서 재료변수설정을 할 때 중요한 역할을 하게 된다.

Lightscape 3.2는 AutoCAD, 3ds max, VIZ 등의 파일을 Import할 수 있다. 모델이 Import되면 객체의 추가, 삭제, 변형이 가능한 Preparation단계에서 작업을 하게 된다. 이 단계는 조명분석 이전단계이며 각종 물리적 변수들을 설정할 수 있다.

Solution단계에서 Material Properties를 조절하였는데 Physics Tab에서 광선반, 천정, 벽, 바닥의 Reflectance scale, Color Bleed scale, Shininess등을 설정하였고 Color Tab에서 광선반과 천정의 색상을 조절하였으며 Texture Tab에서 Scanner를 이용한 벽과, 바닥 재료를 매핑하였다. 그리고 천정

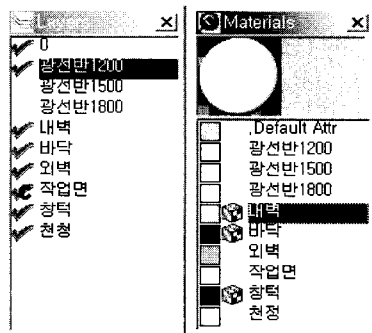
을 실제 모형과 같은 형태로 조절하기 위하여 Procedural Texture Tab에서 Intensity Mapping를 설정하였고 Daylight Setup에서 Sun and Sky, Processing, Place, Time를 설정하였다. Process Parameter에서 Mesh Spacing을 설정, Raydiosity를 실시한 후 Raytracing을 실행하여 최종 이미지를 생성하였다.

(1) 광선반이 설치된 실내공간의 시뮬레이션

Lightscape는 간단한 면을 만드는 기능 외에는 자체 모델링 기능을 가지고 있지 않기 때문에 정확한 모델링을 위해서는 별도의 모델링 프로그램을 사용하여야 한다. Lightscape가 Autodesk 제품인 관계로 AutoCAD나 3ds max 혹은 VIZ등의 프로그램과의 호환성이 좋다. 특히 Lightscape프로그램 설치 시 옵션설정에 따라 3ds max나 VIZ에는 Lightscape Solution파일을 Import할 수 있는 기능이 부가되어 파일의 호환이 가능하다. 물론 DWG, DXF, 3DS등의 파일형식으로도 호환된다. 데이터의 크기에 따라 알맞은 형식으로 전환하여 시뮬레이션하는 것이 바람직하다.

본 시뮬레이션은 AutCAD 2002에서 모델링하였다. Solid 모델링을 하기 위하여 Line으로 작업된 평면을 Region의 객체로 변환하여 3차원 모델을 만들었다. Solid모델은 하나의 객체를 이루므로 이 상태로 Lightscape에서 시뮬레이션을 하게 되면 재료를 설정하기가 복잡해지므로, Explode명령으로 각각의 면을 분할하여준 후 동일 재료별로 Layer와 Color를 설정하였다. AutoCAD에서 Layer와 색상을 설정하면 Lightscape에서 레이아웃과 색상을 활용하여 재료의 변수들을 적용시키기가 용이해진다. AutoCAD에서 단일 외벽으로 모델링하였을 경우 Lightscape에서 모서리부분에서 빛이 새어나오는 현상이 발생하는 경우가 많다.

Lightscape의 Table은 Layers, Materials, Blocks, Luminaires의 4가지가 설정되어 있다. Materials Table은 AutoCAD에서의 색상에 따라 <그림 5>에서와 같이 각각의 분리된 재료로 설정할 수 있는 기능을 한다. 자연채광만을 시뮬레이션을 할 경우에는 조명기구를 설치하지 않기 때문에 Luminaires Table은 사용하지 않았다.



<그림 5> Table

모델링된 파일을 불러올 때 AutoCAD의 DWG형식을 그대로 Import하였다. CAD파일을 Import할 때 File Units를 정확하게 설정하여야만 모델링된 치수대로 Lightscape에서 시뮬레이션 할 수 있기 때문이다.

(2) Lightscape의 변수 설정

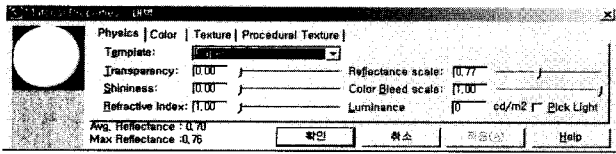
모델이 불러 들여지면 Lightscape의 Preparation단계에서 변수조정을 하게 되는 데 이 단계에서는 물체들의 추가, 삭제, 변형이 가능하며, 조명 분석의 전(前)단계이다. 불러들여진 모델에 가장먼저 재료의 설정을 하여야하는 데 축소모형과 동일하게 물리적인 성질과 색상을 마감 재료로 설정하여야 한다.

<표 2> Lightscape 시뮬레이션을 위한 변수 설정

Simulation을 위한 변수 명		변수 설정값		
Time	Time	GMT+9 Japan, Korea 12:00, 24 Hour		
	Month/Day	3/21		
Place	North	0 (정남향)		
	Location/North	Seoul, Latitude 37, Longitude -127		
Sky Condition		Clear		
Properties	Display	Brightness	90	
		Contrast	90	
Lightshelf	Physics	Reflectance	0.95	
	Color	H.S.V	0.00, 0.00, 0.95	
		Size	폭 : 1200mm (내부: 900, 외부: 300)	
			폭 : 1500mm (내부: 900, 외부: 600)	
	Setting Height		2100mm	
Material		White Paint		
Ceiling	Physics	Reflectance	0.95	
	Color	H.S.V	0.00, 0.00, 0.95	
		Intensity Mapping	Width	100
	Contrast		0.12	
	Complexity		1	
Material		White Paint		
Wall	Physics	Reflectance	0.77	
	Material		Wall Paper	
Bottom	Physics	Reflectance	0.43	
	Material		Carpet Tile	

본 시뮬레이션에서는 <표 2>에서와 같이 천정은 백색수성페인트와 95%의 측정된 반사율을 사용하였고 전등 샌딩기를 이용하여 편평도를 높였지만 유리처럼 편평한 것은 아니기 때문에 Procedural Texture의 Bump Mapping과 Intensity Mapping의 Contrast값과 Complexity값을 조절하여 가시화를 위한 거칠기와 음영을 표현하였다. 벽은 나무무늬 벽지를 스캐닝하여 Texture를 설정한후 77%의 측정된 반사율을 설정하였다. 바닥은 적색계열 오피스용 카펫타일을 스캐닝하여 사용하였고 반사율은 실제 재료의 반사율인 43%로 설정하였다. 광선반은 95% 반사율의 백색 수성페인트로 마감하였다.

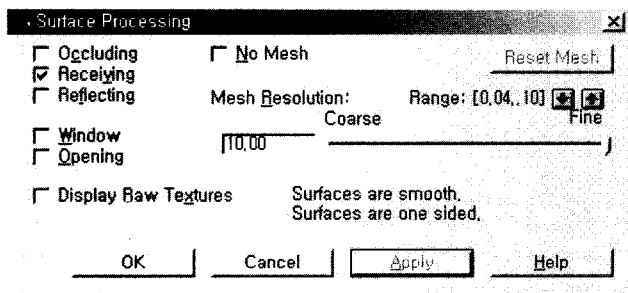
Lightscape에서는 재료의 물리적인 특성, 색상, Texture와 요철의 표현 등을 Material Properties에서 설정한다.



<그림 6> Material Properties 조절

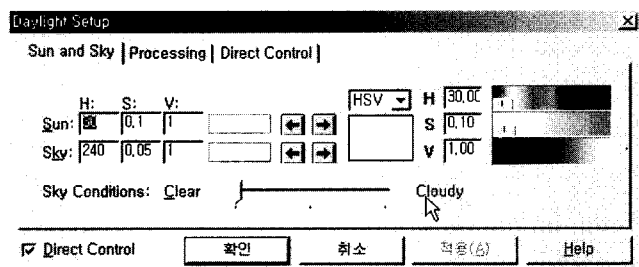
작업면은 벽이나 천정과 달리 모델 내부에서 자연채광의 분배에 영향을 미치면 안되므로 별도의 Surface Processing을 설정하였다. Lightscape는 3차원 면에 대하여 다른 표면들처럼, 광속전달 메쉬를 저장하고 조도를 끌어들이기 위하여 Receiving기능을 선택하도록 되어있다. 이때 다른 3차원 면에 영향을 주지 않도록 차단(Occluding)과 반사(Reflecting)를 선택하지 않았다.

광원에서 광입자들은 사방의 면을 향해 진행하고 이때, 공간에는 조도의 상대적 편차가 나타나 입체감이 생겨 자연스러운 공간을 형성하게 된다. 이러한 조도의 편차를 Lightscape의 Radiosity는 Mesh Resolution을 통하여 수학적으로 계산한다. 그러므로 분할되는 면이 작아질수록 세밀한 명암의 편차를 나타내기 때문에 수조면(受照面)의 mesh의 해상도를 조절하는 Mesh Resolution을 최대값인 10을 설정하였다.



<그림 7> Surface Processing 조절

재료 설정 후 시뮬레이션을 위한 자연채광 환경을 설정하였다. Sun과 Sky의 색상, 명도, 채도 값은 Lightscape에서 설정되어 있는 값을 그대로 사용하였고 Sky Conditions은 Clear를 사용하였다. Lightscape는 <그림 8>에서와 같이 천공상태를 3단계로 조절할 수 있다.

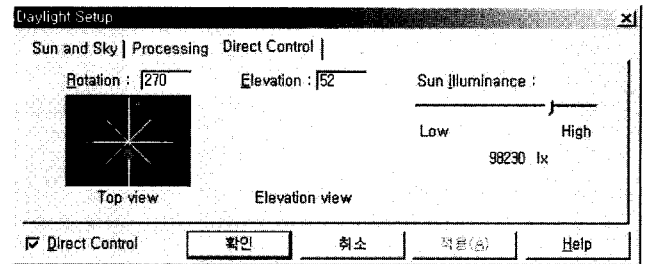


<그림 8> Daylight Setup - Sky Conditions

<그림 9>는 조도 및 태양고도와 방위각 등을 직접적으로

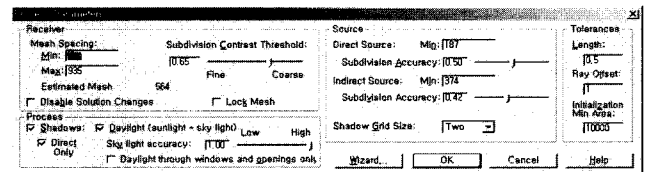
조절하는 모드상태의 대화창이다. 본 시뮬레이션에서는 Direct Control을 이용하였다.

Daylight Setup의 Processing은 직사광과 천공광(天空光)을 모두 이용하였다. Direct Control에서 정남향과 태양의 고도를 설정하였고 3월 21일(춘분)의 고도를 사용하였다. 태양의 조도값은 9823 (lx)과 120633(lx)를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 태양의 조도값은 최소 0(lx)~131,835(lx)까지 사용이 가능하며 861(lx)혹은 862(lx)를 한 단위로 조도 증감이 가능하다.



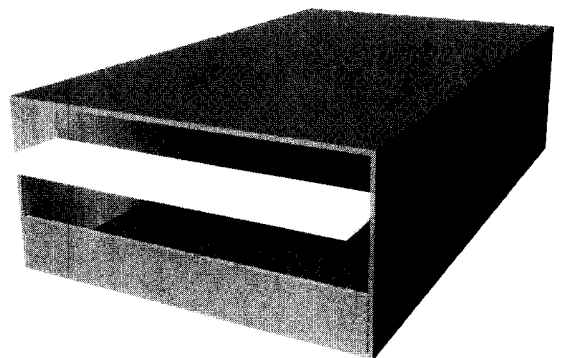
<그림 9> Daylight Setup - Direct Control

광속전달 명령을 실행하기 전에 Process Parameters에서 Mesh Spacing과 음영의 정확도를 조절하는 Subdivision Contrast Threshold를 자동설정값으로 설정하였고 천공광의 정확도를 조절하는 Sky light accuracy를 최대값인 1로 조절하였다.

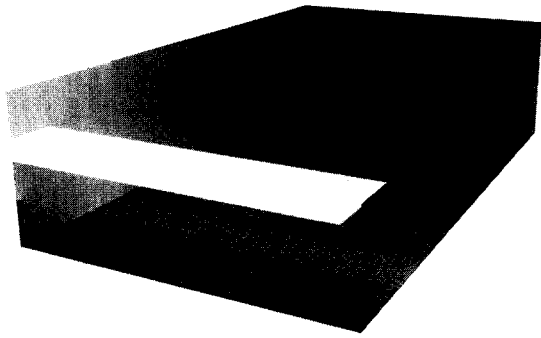


<그림 10> Process Parameters

광속전달과정은 99.999%에 도달 될 때까지 진행하였으며 완료된 후 최종 이미지를 얻기 위하여 Rendering옵션을 선택하였다. Ray Bounces값은 크게 할수록 정교한 이미지가 생성되지만 기본값으로 설정되어있는 10을 변경하지 않았다.



(a) 외부



(b) 내부

<그림 11> 렌더링을 통한 이미지 생성

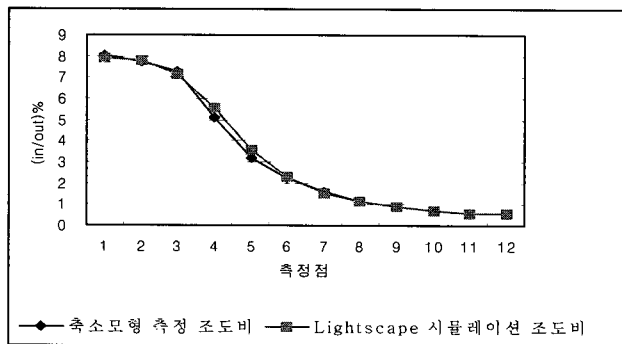
## 4. Lightscape의 유용성 검증

### 4.1. 광선반의 길이가 1.2m (내부 0.9m, 외부 0.3m)인 경우

축소모형 실험에 의한 측정값과 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 계산값은 <표 3> 및 <그림 12>와 같다. 이 논문에서 측정값은 주광조도비 (실내주광조도/옥외 직사일광조도×100,%)로 비교하였다. 각 행별로 평균값을 비교하면 제 1, 4, 5, 6행을 제외하고는 상대오차가 2%이내이며, 전체적으로는 3.36%의 상대오차가 나타났다.

<표 3> 광선반 길이가 1.2m일 경우 각 행별 평균주광조도비 및 상대오차

행	평균 상대 오차 (%)	A		B		C		D	
		모형 측정	계산값	모형 측정	계산값	모형 측정	계산값	모형 측정	계산값
평균	3.36								
1	5.17	7.32	7.05	8.37	8.25	8.30	8.88	8.30	7.59
2	1.10	6.73	6.65	7.98	7.93	8.13	8.16	8.13	8.31
3	1.68	6.22	6.28	7.48	7.34	7.70	7.51	7.70	9.05
4	8.04	4.37	4.70	5.24	5.63	5.42	5.83	5.42	5.94
5	11.23	2.79	3.08	3.28	3.60	3.35	3.71	3.35	3.82
6	4.74	1.97	2.06	2.27	2.33	2.30	2.41	2.30	2.46
7	1.88	1.43	1.41	1.63	1.57	1.63	1.60	1.63	1.64
8	1.50	1.06	1.07	1.19	1.15	1.18	1.18	1.18	1.20
9	1.39	0.82	0.82	0.91	0.89	0.89	0.90	0.89	0.91
10	1.05	0.65	0.65	0.72	0.70	0.71	0.70	0.71	0.71
11	1.27	0.56	0.57	0.61	0.60	0.61	0.61	0.61	0.62
12	1.29	0.53	0.53	0.58	0.57	0.58	0.57	0.58	0.57



<그림 12> 광선반의 길이가 1.2m일 경우 각 행별 평균 주광조도비

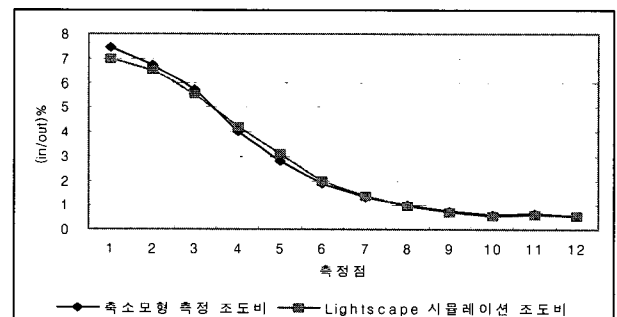
### 4.2. 광선반의 길이가 1.5m (내부 0.9m, 외부 0.6m)인 경우

축소모형 실험에 의한 측정값과 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 계산값은 <표 4> 및 <그림 13>과 같다. 각 행별로 평균값을 비교하면 전체적으로는 6.46%의 상대오차가 나타났다.

광선반의 길이가 1.2m인 경우 보다 상대오차가 3.1% 크게 나타났다. 실 전체를 볼 때 제 3행의 오차가 3.17%로 가장 작고, 제 5행은 오차가 11.7%로 가장 크게 나타났다. 특히, 5, 6, 7 행의 실 중앙 부분에서 오차가 크게 나타났다.

<표 4> 광선반 길이가 1.5m일 경우 각 행별 평균주광조도비 및 상대오차

행	평균 상대 오차 (%)	A		B		C		D	
		모형 측정	계산값	모형 측정	계산값	모형 측정	계산값	모형 측정	계산값
평균	6.46								
1	6.35	5.89	5.94	7.20	6.96	7.33	7.48	9.43	7.62
2	3.17	5.35	5.13	6.45	6.05	6.55	6.47	8.63	8.53
3	4.90	3.78	3.97	5.53	5.25	5.62	5.52	7.88	7.27
4	5.95	2.99	3.02	3.75	3.52	3.71	3.76	5.55	6.40
5	11.17	2.12	2.47	2.61	2.81	2.64	3.02	3.77	4.00
6	9.43	1.44	1.67	1.73	1.82	1.65	1.91	2.58	2.56
7	7.50	1.06	1.15	1.23	1.25	1.15	1.28	1.87	1.71
8	5.45	0.82	0.84	0.97	0.88	0.90	0.91	1.34	1.22
9	4.97	0.61	0.64	0.71	0.68	0.66	0.69	0.97	0.91
10	4.97	0.48	0.51	0.57	0.54	0.53	0.54	0.77	0.72
11	7.95	0.60	0.57	0.69	0.59	0.65	0.61	0.65	0.61
12	5.71	0.48	0.53	0.57	0.57	0.54	0.58	0.60	0.57



<그림 13> 광선반의 길이가 1.5m일 경우 각 행별 평균 주광조도비

### 4.3. 광선반의 길이가 1.8m (내부 0.9m, 외부 0.9m)인 경우

축소모형 실험에 의한 측정값과 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 계산값은 <표 5> 및 <그림 14>와 같다. 각 행별로 평균값을 비교하면 전체적으로는 7.75%의 상대오차가 나타났다.

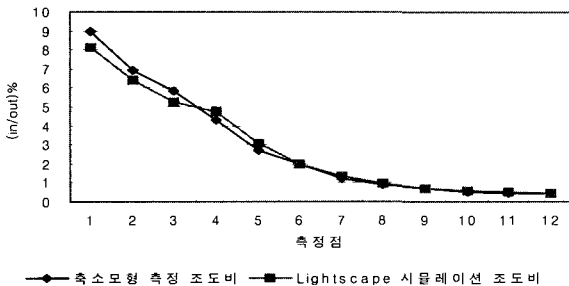
광선반의 길이가 1.2m인 경우 보다 상대오차가 4.39%, 1.5m인 경우 보다는 1.29% 크게 나타났다. 실 전체를 볼 때 제 9행의 오차가 3.12%로 가장 작고, 제 5행은 오차가 15.66%로 가장 크게 나타났다. 특히, 4, 5행의 실 중앙부에서 창 부근까지의 오차가 크게 나타났다.

물리적 채광성능은 광선반의 길이가 짧을수록 오차가 작게 발생하는 것이 나타났으므로, 채광성능 예측용으로 Lightscape의 유용성은 매우 크게 나타났다.



<표 5> 광선반 길이가 1.8m일 경우 각 행별 평균주광조도비 및 상대오차

행	평균 상대 오차 (%)	A		B		C		D	
		모형 측정	계산값	모형 측정	계산값	모형 측정	계산값	모형 측정	계산값
평균	7.75								
1	9.16	7.73	7.38	9.24	7.49	8.84	8.06	10.10	9.66
2	7.28	5.62	4.75	6.90	6.45	7.12	6.63	7.94	7.92
3	8.81	4.43	4.03	5.61	5.27	5.64	5.39	7.58	6.39
4	11.01	3.35	3.72	4.12	4.50	4.18	4.65	5.50	6.19
5	15.66	2.16	2.36	2.60	3.07	2.49	3.17	3.51	3.79
6	4.13	1.65	1.58	1.99	1.94	1.88	1.99	2.30	2.39
7	6.48	1.03	1.07	1.23	1.31	1.16	1.34	1.59	1.59
8	4.62	0.77	0.77	0.90	0.93	0.84	0.96	1.15	1.14
9	3.12	0.60	0.59	0.70	0.71	0.64	0.70	0.84	0.84
10	9.40	0.45	0.47	0.51	0.56	0.48	0.57	0.65	0.68
11	6.56	0.40	0.41	0.46	0.48	0.43	0.49	0.55	0.58
12	6.77	0.39	0.38	0.44	0.44	0.42	0.45	0.46	0.54



<그림 14> 광선반의 길이가 1.8m일 경우 각 행별 평균 주광조도비

#### 4.4. 사진과 시뮬레이션에 의한 실내전경의 비교

청천공 상태에서 직사일광이 창을 향하여 비칠 때의 실내 모습을 비교하기 위해, 축소모형의 내부를 사진으로 촬영하여 Lightscape에서 생성된 이미지와 비교한 결과 두 이미지에는 육안으로 구분할 수 없을 정도로 유사한 것으로 나타나 실내전경의 예측에도 유용한 도구임이 나타났다.

	촬영사진 이미지	Lightscape 이미지
광선반 (0.9m)		
광선반 (1.2m)		
광선반 (1.5m)		

<그림 15> 촬영된 사진과 Lightscape에서 생성된 이미지의 비교

## 5. 결론

본 연구는 현재 자연채광 성능평가 및 가시화 도구로서 많이 사용되고 있는 Lightscape가 우리나라 기상환경조건에 적합한 것인지를 여부를 검증하여, Lightscape의 유용성을 평가한 것이다.

이를 위하여, 광선반형 측창이 설치된 평가모델을 설정하여 축소모형 실험과 Lightscape에 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였고, 유용성은 주광조도비와 생성된 가시화된 이미지를 비교한 결과는 다음과 같다.

광선반의 길이가 1.2m인 경우 보다 실내공간의 주광조도비에 대한 상대오차는 3.36%, 1.5m인 경우 6.4%, 1.8m인 경우에는 7.75%로 나타났다. 물리적 채광성능은 광선반의 길이가 짧을수록 오차가 작게 발생하는 것이 나타났으며, 전체적으로 10% 미만의 오차를 나타내 채광성능 예측용으로 Lightscape의 유용성은 매우 크게 나타났다.

이 경우 <그림 13, 14, 15>에서 보듯이 시각화된 자료로 표시할 수 있다. 또한, 사진촬영 이미지와 Lightscape에서 생성된 이미지는 육안으로 구분이 불가능하여 시각적인 평가도구로 갖화의 기능은 매우 유용한 것으로 나타났다.

앞으로의 연구과제로서는 실내의 휘도와 색상에 대한 비교를 통하여 가시화 도구로서의 유용성을 좀 더 정확하게 평가할 필요성이 있다.

## 참고문헌

1. 建築環境と可視化情報, 空氣調和・衛生工學會(編), 1995. 7.
2. 김정태·정유근·정인영·황민구, 자연채광 성능평가에 있어서 축소모형 실험 방법론의 유용성 검증에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 22권 2호, 2002.6
3. 양혜인, RADIANCE 프로그램에 의한 빛환경 설계 및 평가의 타당성 검증, 한양대학교 석사학위 논문, 2000. 6.
4. 홍성욱, Lightscape를 사용한 조명시뮬레이션, 서울산업대학교 석사학위 청구논문, 2001. 2.
5. Mohamed Adel Samy Shalaby, Evaluating Lightscape's Accuracy for Predicting Daylighting Illuminance Compared to An Actual Space, Florida University, 2002.
6. Lightscape User's Guide V 3.2, Autodesk., 1999.
7. IESNA RP-21, Calculation of Daylight Availability, Illuminating Engineering Society of North America, 1991.

<집수 : 2003. 2. 28>