제 2 장 빛환경 평가 방법 및 도구

빛환경에 대한 평가는 1장에서 언급했듯이, 크게 정량적인 평가와 정성적인 평가의 두가지로 나누어질 수 있다. 정량적인 평가는 조명의 양을 나타내는 것으로 작업면 상의 권장조도에 맞는 충분한 조도 확보의 여부를 평가하는 것이며, 정성적인 평가는 조명의 질 또는 조명의 적합성으로 재실자들이 느끼는 주관적인 면을 나타내는 것으로 현휘가 생기지 않도록 휘도분포를 유지하고, 빛의 대비를 감소시키고, 연색성을 좋게 하는등의 심리적, 미적효과를 평가하는 것이다. 평가방법은 크게 측정법과 계산법으로 나누어 질 수 있으며, 각각의 평가방법은 다음에서 설명하였다.

2.1. 측정법 및 평가 도구

건물에서 빛환경의 설계 및 평가시 사용되는 측정방법으로는 모형을 이용한 측정법과 실제 공간에서의 측정법 등을 들 수 있다.

2.1.1. 축소 모형 실험

조도 측정 축소모형은 실제 조명설계에서 수년 동안 사용되어온 확립된 기법으로, 건축 내부 공간에서의 주광 환경을 가장 정확히 예측할 수 있는 방법이다 (Spitzglas et al, 1985; Navvab and Love, 1989; Navvab, 1995). 자연채광 실험용 축소모형은 동일한 천공상태만 제공된다면 축척에 관계없이 간단한 모형으로도 정확한 양적인 데이터를 얻을 수 있으며, 디자인 구성요소의 변경을 통해 손쉽게 대안의 비교를 할 수 있는 등의 장점을 가지고 있다. 즉, 축소모형은 건축가에게 건축물의 디자인 단계에서 자연채광 시스템의 계량적인 면은 물론 심미적인 면에서의 주광환경까지도 평가해 볼 수 있는 기회를 제공하게 된다.

축소모형은 한번에 하나의 변수, 즉, 개구부의 형태, 개구부의 위치, 방위, 천공의 모양, 차양시스템, 실내공간의 표면 재료 성질 등을 변화시켜 측정된 값을 통해 자연채광과 인공조명을 적용시키는데 최적의 조건을 제시하여 준다.

자연채광의 예측 및 평가를 위하여 축소 모형을 제작하는 경우, 그 축척을 얼마로 하는가 하는 문제가 중요한데, 이론적으로 축소 모형에 나타나는 빛의 영향은 빛의 물리적인 특성으로 인하여 축척과 관계가 없기 때문에 모형의 축척은 축소모형 실험의 목적과 특성에 맞도록 제작의도에 따라 결정하는 것이 좋다. 그러나 건축 내부 공간의 조도 평가를 위하여 제작되는 축소모형의 경우 모형이 너무 작으면 조도계의 센서가 측정시 방해가 될 수 있으며, 또한 수평면 조도의 측정은 보통 80~100cm 정도의 작업면 높이에서 이루어지므로 센서자체의 높이도 모형의 축척을 결정하는데 고려되어야 한다. 이때 정확한 측정을 위하여 조도계의 본체와 센서가 분리되는 조도계가 바람직하다. 조도 측정을 위한 축소모형에서 사용되는 일반적인 축척은 1:10, 1:13, 1:15이 주로 사용된다.

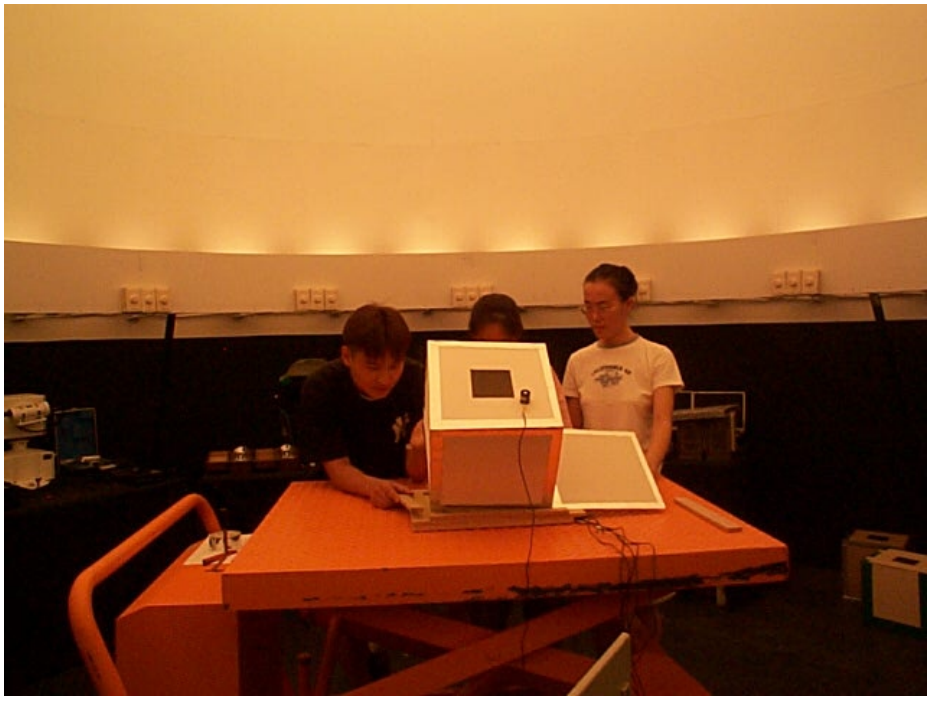
이러한 축척에서 창문, 문, 실내 칸막이벽, 실내 표면 재료특성 등과 같은 성질 등을 쉽게 나타낼 수 있다. 또한 표면의 반사율은 상호 변화하여 이동이 자유로운 구성부재를 이용하여 변화시켜 측정하도록 한다. 조도계의 지지대와 창문에 대하여 조도계의 위치 또한 견고하게 고정되어야 한다.

2.1.2. 인공천공실험

실내와 달리 외부 모형실험에는 많은 제약이 따르게 되는데, 그 중 가장 큰 부분이 천공 및 외부 환경이다. 자연채광 실험의 경우 구름의 양에 따라 많은 오차가 발생할 수 있으므로 이러한 문제점을 해결하기 위해서 인공천공(Sky Simulator, 또는 Artificial Sky Dome)이 고안되었다. 인공천공은 현재 미국 버클리 대학, 미시간 대학, 텍사스 A&M 대학 등에 있으며 우리나라의 경우, 한양대학교 안산캠퍼스 건축환경실험실에 있어, 이를 통하여 원하는 천공을 여러 조건내에서 다양하게 시뮬레이션 할 수 있다. [그림 2.1]과 [그림 2.2]는 각각 한양대학교에 설치된 인공천공의 외부와 내부의 모습을 보인 것이며, [그림 2.3] 인공천공 내에서 축소모형을 이용하여 자연채광 효과를 실험하고 있는 모습을 보인 것이다.

[그림 2.1] 한양대학교 인공천공의 외관

[그림 2.2] 한양대학교 인공천공의 내부모습



[그림 2.3] 인공천공 내 축소모형실험 모습

인공천공 내에는 300W 텅스텐 할로겐 램프가 총 96개 설치되어 있어, 램프를 모두 점등하였을 때 평균 수평면 조도 3600lx의 담천공 상태를 시뮬레이션 할 수 있으며, 램프의 점등 수의 조절에 따라 다양한 조도의 천공상태를 시뮬레이션 할 수 있다.

그 밖에도 조도계 및 휘도계를 사용하여 실제의 천공 상태에서 측정하는 방법과 실제 공간에서 측정하는 방법 등이 있으나 실제 공간에서의 측정은 공간내의 환경에 따라서, 실제 천공에서의 실험의 경우는 기상상태 및 시각별로 외부 조도가 변동하므로 다양한 설계안을 비교 평가하는 것이 어려운 단점이 있다.

2.2. 계산법 및 평가 도구

조명을 설계하고 평가하는데 있어서 공간내의 원하는 조도를 확보하기 위해서는 몇 개의 조명기구를 설치해야하며, 또한 자연채광으로 얻어지는 조도는 얼마인지를 알 수 있어야 한다. 그러나 인공조명의 경우, 실제의 조명기구들을 축소화하여 표현하는데에 많은 어려움이 있다. 따라서 정확한 조도계산법이 필요하게 된다. 조도계산법은 계획단계에서 조명을 설치하려는 장소의 상황을 예측할 수 있게 해주는 기능을 갖고 있다. 일반적으로 조명설비를 시공하고 난 후에는 이를 변경하는 것이 어렵기 때문에, 계획단계에서 조명상황을 예측하는 것은 매우 중요하다. 그러므로 적절한 조도를 얻기 위하여 조명이 실시되는 공간의 여러가지 특성을 알아야 한다. 즉, 대상공간의 기하학적인 크기, 마감재의 재료 특성 및 반사율, 사용되는 조명기구의 배광특성, 사용하려는 램프의 종류 등을 미리 결정하고, 공간의 특성에 적합한 조명설계를 실시한다.

현재, 3차원 컴퓨터 그래픽 기술의 발달과 컴퓨터 하드웨어의 대용량화 및 고속화에 힘입어 실제 사진과 같이 선명한 이미지를 생성해내는 분석프로그램들이 개발되어있고 이를 이용하여 계획단계의 조명설비에 의한 조도와 휘도를 매우 정확하게 계산해낼 수 있으므로 축소모형실험이나 실제 측정으로 불가능한 점을 보완하여 조명설계시의 시행착오를 최소화하게 되었다.

2.2.1. 몬테카를로 방법(Monte Carlo Method)

몬테카를로 방법(Monte Carlo Simulation, 이하 MCS)이란 확률분포에 근거하여 대상물의 행동을 모델링하고 그에 따른 난수(random number)를 이용한 전산모의실험(computer simulation)을 통하여 그 결과를 예측하는 방법을 통칭하는 것으로 조명계산에만 적용되는 용어는 아니다. 조도계산에서의 MCS란 광원의 배광분포를 수식적으로 모델링하여 그에 따라 발생된 난수 함수가 광원으로부터 방사된 빛의 진행방향이라 가정하고, 실내면의 여러 조건에 따라 모의광의 경로를 추적하여 각 실내면의 최종 흡수 광량을 예측하는 것이다(송민호, 1997). 몬테카를로 방법에서 사용되는 확률 개념은 다음과 같다(유기형, 1997).

확률을 P_k로 정의하고 일어날 수 있는 경우의 수를 사건 E_k라 정의하면, 확률 P_k는 0과 1사이에 존재한다. 만약 모든 경우에 사건 E_k 가 발생한다고 한다면 확률은 1이 되고 어떤 경우에도 발생하지 않는다면 확률은 0이 된다.

만약 E_i 와 E_j가 서로 독립이면, $P(E_i \text{ and } E_j) = 0$, $P(E_i \text{ or } E_j) = p_i + p_j$ 가 된다.

E_i, $_i$ = 1,2,3,...., N,이 서로 독립이면 $\sum_{i=1}^{N} p_i = 1$ 이 된다.

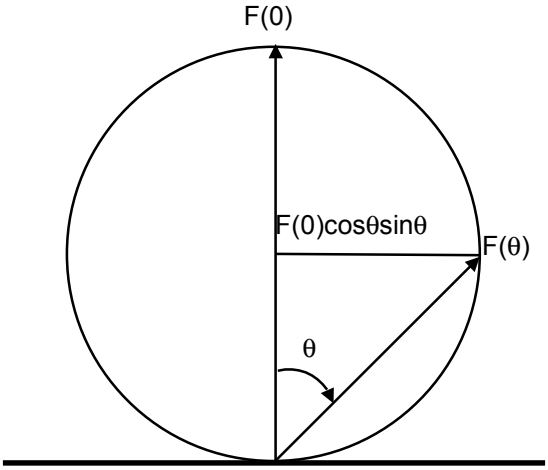
모든 X에 대한 확률을 나타내는 것을 확률밀도함수 $P(x)$로, 이것에 대한 확률누적함수인 확률분포함수를 $F(x)$로 나타낼 수 있다. 확률 변수 X가 구간 $(x,\ x+dx)$ 사이의 값을 가지게 될 확률은 (식 2.1)과 같이 정의할 수 있다.

$P(x)dx = [x<X<x+dx]$일 확률 **(식 2.1)**

확률 분포 함수 $F(x)$는 $P(x)$를 적분함으로써 (식 2.2)를 구할 수 있다.

$$F(x) = \int_{a}^{x} p(t)dt = [X \le x]\text{일 확률} \quad \textbf{(식 2.2)}$$

최초광원에서 임의의 방향으로 방출된 빛의 입자는 직진하다가 경로중에 있는 실내면의 한 점에 충돌하게 된다. 충돌한 빛은 충돌한 실내면의 반사 특성에 따라 반사, 또는 흡수되며, 반사할 경우 또다시 어떠한 경로를 따라 직진하여 다른 점에 충돌하는 과정을 반복하게 된다. 물론 반사되는 빛의 입자는 모의광원에서 방사될 때와 같이 반사면의 반사특성에 따라 역시 난수 함수에 의해서 결정되는 방향을 갖게 된다. 완전확산반사면에서 빛의 입자가 반사되는 경우를 가정할 때 아래 그림과 같은 수식적 모델링이 가능하며 광원에서 방사되는 경우와 같은 수식전개를 통하여 반사되는 각이 결정된다.



[그림 2.4] 광자의 방사각

$$F(\theta)d\theta = \frac{2\pi F(0)\cos\theta \cdot d\theta}{\int_0^{2\pi} 2\pi F(0)\cos\theta \cdot d\theta} 2\cos\theta\sin\theta \cdot d\theta \qquad \textbf{(식 2.3)}$$

윗 식으로부터,

$$\int_0^{\theta} 2\cos\theta\sin\theta \cdot d\theta = \frac{1-\cos 2\theta_0}{2} = R \qquad \textbf{(식 2.4)}$$

$$\therefore \theta_0 \frac{\cos^{-1}(1-2R)}{2} \qquad \textbf{(식 2.5)}$$

와 같은 반사방향을 난수함수로부터 구할 수 있다. 흡수나 반사를 결정하는 것도 반사면의 반사율에 대하여 역시 난수함수를 발생시킨 후 이를 비교하여 결정되어진다. 예를 들어 모의광 입자가 충돌한 충돌면의 반사율이 ρ라고 가정한다면 난수함수 R을 발생시킨 후 아래와 같은 논리연산을 통하여 흡수와 반사를 결정한다.

$R > \rho$: 흡수

$R \leq \rho$: 반사 **(식 2.6)**

이와 같은 경로의 추적을 입자가 흡수될 때까지 반복하고 이를 정해진 입자수에 대하여 반복수행하면 작은 면적 단위로 분할된 실내면의 각 면소에 흡수된 모의 광의 수를 이용하여 각 면소의 조도를 알 수 있게 된다.
이 과정을 통하여 얻을 수 있는 조도분포가 실제 값과 근접하기 위해서는 사용된 광원의 배광분포와 반사면의 반사특성이 정확히 모델링되어야 한다.

2.2.2. 광선추적기법(Ray-tracing Technique)

광자의 반사, 투과, 흡수 그리고 굴절과 같은 복잡한 광학적 특성을 표현할 수 있도록 광자가 운동하는 방향과 크기를 벡터화시키고 각 입자들의 진행경로를 입자가 소멸될 때까지 추적하는 방법이다. 광자의 방향은 반사면의 확률분포에 따라 난수에 의해 결정된다. 방사된 광자는 공간내에서 직진을 하다가 면에 도달하고 흡수 또는 반사될 것 인지가 결정된다. 광자가 표면 또는 광원에 흡수되는 다음의 광자가 광원에서 방사된다. 이러한 계산절차는 여러 번 반복되고 결과적으로 표면의 조도는 그 표면에 입사하는 광자의 수에 따라서 결정된다(이정호, 1999). 따라서 이 방법을 적용시키기 위해서는 벡터에 대한 기본적인 이론과 이 벡터가 공간상의 어떤 평면과 만날 경우 만나는 점의 교점과 이루는 각 등을 계산하는 식을 알아야 한다. 교차한 면에 대한 반사 특성, 투과 특성 등과 같은 벡터의 방향이나 크기에 변화를 줄 수 있는 특성 등을 고려하여 벡터의 새로운 방향과 크기를 결정하게 된다(유기형, 1997).따라서 이러한 방법에 의해 이미지를 생성하는데에는 많은 시각이 소요되게 된다. 따라서 이러한 광선추적기법의 개념을 반대로 적용하여 광선이 눈으로부터 방출된다고 가정하여 광원까지 추적하는 역광선추적기법을 사용하게 되는데, 이것은 RADIANCE 프로그램의 기본바탕이 되는 개념이다.

2.2.3. 광속전달법(Luminous Flux Transfer Method)

광선추적기법을 통해 제공되는 이미지들은 표면이 인공적이고 딱딱하여, 모델의 경면 반사, 굴절 같은 지정된 부분에 더 효과적이며 세부 이미지 분석에는 적합하지 않다. 이와 비교하여 광속전달법은 사진과 거의 유사한 이미지를 보이며 완전반사, 확산반사등에 의해 내부표면과 음영 등을 자연스럽게 표현한다. 광속전달법은 복사전달이론에 기초하여 음영 경계와 음영 내 세밀한 음영 변화를 따라 표면들 사이의 광원, 확산 반사, 색 번짐의 영역을 정확히 모형화하는 기술이다.

기본적인 개념은 표면을 많은 작은 요소들로 나누어 실내에 공급되는 조명기구의 빛이나 창문을 통한 태양광이 직접 이들 표면의 전체가 아닌 각각 나누어진 요소들에 비춰지게 된다. 빛이 비쳐진 요소로부터 반사된 빛은 그 요소에서 보이는 다른 면을 비추게 되고, 모든 빛이 흡수될 때까지 모든 요소들로부터 반사되어진다. 만일 직사광과 반사광이 각 요소들의 모든 반사에 대해 계산되어진다면 각 요소의 휘도 또는 표면 밝기가 예측될 수 있을 것이다. 이러한 광속전달법에 기초한 프로그램은 일반적으로 CAD환경을 취하며 곡면, 간이벽, 가구 같은 복잡한 표면들을 계산할 수 있으며, 시뮬레이션을 통하여 대상공간의 표면 모든 요소의 조도, 휘도 및 색 등을 모델링할 수 있다(Ashdown, 1993).

광속전달법을 사용한 프로그램들로는 Lightscape과 Unix체계의 HP(휴렛팩커드)사의 STARBASE 등이 있으며, 광속전달법에 기초한 프로그램을 개발한 다른 회사로는 일본 Toshiba Lighting & Technology사와 유럽의 Philips Electronics사가 있다.

2.2.4. 조명계산용 프로그램

현재 여러 용도로 개발된 수많은 조도 계산용 프로그램이 다양하게 사용되고 있다. 가장 간단하게는 단순한 육면체의 실내 각 면에 대하여 평균조도를 계산해 주는 것부터 복잡하게는 건축물의 실내외면의 형상과 재질, 그리고 조명기구의 배광특성을 정확히 고려하여 관찰자가 이동하면서 보게되는 조명상황을 동영상으로 만들어주는 것까지 여러 수준의 프로그램이 있다. 이러한 다양한 조명계산용 프로그램을 사용하기에 앞서서 무엇보다도 각종 조명계산법의 원리와 장단점, 그리고 그 한계를 명확히 이해하여야 한다.

다음은 현재 사용되고 있는 많은 컴퓨터 프로그램들 중 상대적으로 사용빈도가 높고, 성능이 좋은 프로그램들의 특성과 계산기법들을 살펴보았다(LD+A, 1996). 평가가 행해진 프로그램은 총 15가지 이며, 각 프로그램은 아래의 [표 2.1]에 따라 번호를 정하였다.

[표 2.1] 평가가 행해진 프로그램

1	**LITE*PRO 3.0** – Columbia-Prescolite-Moldcast
2	**LUXICON 1.2** – Copper Lighting
3	**SOLFTPLOT** – Crescit Software Inc.
4	**LIGHTCAD 2.01** – Electric Power Research Institute
5	**CALAPRO** – Holophane Corporation
6	**WORLDLYTE 4.0** – Greg Hauser
7	**AUTOLUX 6** – Independent Testing Labs
8	**ADELINE 1.0** – Lawrence Berkeley Lab.
9	**RADIANCE 2.6** – Lawrence Berkeley Lab.
10	**GENESIS 3.20** – Lightolier
11	**AGI 2.8** – Lighting Analysts, Inc.
12	**MICRO-SITE-LITE** – Lighting Sciences Inc.
13	**LUMENMICRO 7.0** – Lighting Technologies Inc.
14	**LIGHTSCAPE VISUALIZATION SYSTEM** – Lightscape Technologies Inc.
15	**VISUAL 1.5** – Lithonia Lighting

비교 항목은 크게 8가지로 나누었으며, 각각의 항목을 다시 세부 항목으로 나누었다. 비교가 행해진 각 항목 및 세부항목의 내용과 그에 따른 표기는 [표 2.2]에 나타내었다.

[표 2.2] 비교 항목과 세부 항목

항 목	세 부 항 목	
	내 용	영문표기
적용범위	공간내부에 위치한 대상물의 모델링	Indoor
	공간외부에 위치한 대상물의 모델링	Outdoor
	도로조명의 모델링	Roadway
	광각 및 협각 조명의 모델링	F or S L
	무대조명의 모델링	Stage L
하드웨어 사양	프로그램이 실행되는 OS의 종류 표기 - D(DOS), U(UNIX), 2(OS/2), M(MAC), W(WINDOWS)	OS
	CAD 파일에서 사용되는 기능들의 적용	CAD
	시스템의 RAM의 용량	RAM
	프로그램이 차지하는 하드디스크 용량	Hdisk
	프로그램의 프로세서(CPU) 사양	CPU
	프로그램이 지원하는 최대, 최소 그래픽환경 표기 - M(mono), C(CGA), E(EGA), V(VGA), S(SVGA)	Graphics
	프로그램에서 지원하는 컬러사양	Color
모델링이 가능한 형태 및 특성	대상지점의 수평면에서의 조도 계산	Hor
	대상지점의 수직면에서의 조도 계산	Ver
	상호 반사 계산	I-reflect
	조명원의 직접성분 계산	Direct
	내부공간의 표면에서의 휘도 및 분포 계산	Surface
	도로조명의 휘도 계산	R.lum
	표면을 수직, 또는 수평으로 나누어 계산	Tilted Plane
	조명 계산 방향의 조절	Tilted Light
	공간에서의 내부 평균조도 계산	A.I.E
	광속에 의한 외부 평균조도 계산	A.O.E
	자연채광의 계산	Daylight
	공간 내부의 시각적 안정성 평가	VCP

항 목	세 부 항 목	
	내 용	영문표기
모델링이 가능한 형태 및 특성	내부 공간에서의 상대적 시환경 평가	RVP
	가격성 평가	Economy
	조명원의 전력 계산	UPD
	음영, 빛의 대비, 현휘 등과 같은 다양한 항목 평가	ASA
	대상공간의 가시화	Image
	그밖의 평가요소들 표기 - UGR(현휘발생율), L(휘도), G(현휘), UO(전반휘도), STV(소규모의시환경), MF(유지관리), OPT(최적화 위한 방안)	Other
특이 사항	조명기구의 배치 제시	Layout
	건물에서의 조명 작업 스케줄	Schedule
	프로그램에 적용되는 CAD 형식	CAD I
	건물의 음영 모델링	Shadow
	내부 가구나, 가벽 모델링	Obstruct
	공간의 평면 관측 표기 - 직사각(R), 직교(T), 임의각(A)	Plan
	공간의 단면 관측	Section
	연속 모델링	Batch
	계산가능한 최대 공간의 수, 무한은 U로표기	Max. No. Area
	계산가능한 최대 조명 기구의 수 무한은 U로표기	Max. No. L-Type
사용자 인터페이스	입력시 표 형태	Tabular
	입력시 그래픽 형태	Graph
	입력과 출력값을 미터단위로 표시	Meter-U
	입력장치의 종류 표기 - D(디지털 장치), K(키보드), M(마우스), P(펜), V(음성)	Device
	프로그램 사용시 매뉴얼 사용	Help

항 목	세 부 항 목	
	내 용	영문표기
결과 출력 형식	계산 지점에 따른 결과	PBP
	등고선 형태의 결과	ISO
	스케일의 적용	Scale
	등고선을 적용할 수 있는 데이터 형태	Template
	3차원 형태	3D
	문서 출력	Plotter
	색 적용	Color
	그래픽 출력	Graph
	그림자 적용	Shade
	모델링 형태 출력	Printout
국제적인 통합 요소	언어	Language
	국제적으로 통일된 계산 기술 제공	Cal
광학 데이터	광학적 데이터 관리 표기 - IN(internal), EX(external)	Manager
	광학적 데이터의 그래프 작성 및 출력	Graph
	광학 데이터 형식 표기 - I(IESNA), C(CIE), OTH(Other), ALL	Format

[표 2.3]은 위의 [표 2.1]를 통해 번호를 정한 현재 전세계적으로 많이 사용되고 있는 다양한 조명설계 소프트웨어의 평가표를 보인 것이다. 비교 항목에 따라 프로그램들의 성능 및 특성이 각 항목에 해당하면 'O'를 표시하였고, 특이한 사항은 그 내용을 명시하였다.

[표 2.3] 조명설계 프로그램의 평가표

비 교 항 목		1	2	3	4	5	6	7	8
적용범위	Indoor	O	O		O	O	O	O	O
	Outdoor	O	O			O	O	O	O
	Roadway	O				O	O	O	O
	F or S L	O	O			O	O	O	O
	Stage L	O		O					O
하드웨어 사 양	OS	D, W	W	W	D	D	D	D/W	D
	CAD				O			ACAD	
	RAM	4M	8M	4M	4M	4M	530K	16M	8M
	Hdisk	10M	26M	35M	3.5M	4M	7M	2M	20M
	CPU	3/4	4/P	3/4	3/4	3/4	2/4	3/P	4
	Graphics	C/S	V/S	V/S	M/S	V	E/S	ACAD	A
	Color	2/16	256	16	2/256	16/16	2/256	ACAD	True
모델링 가능한 형태 및 특성	Hor	O	O	O		O	O	O	O
	Ver	O	O	O		O	O	O	O
	I-reflect	O	O			O	O	O	O
	Direct	O	O	O		O	O	O	O
	Surface	O	O			O	O	O	O
	R.lum					O	O		O
	Tilted Plane	O	O			O	O		O
	Tilted Light					O	O	O	O
	A.I.E	O	O		O	O	O		
	A.O.E			O		O	O		
	Daylight		O		O				O
	VCP		O						O
	RVP		O						
	Economy	O	O				O		O
	UPD	A/P	X/P		O		AP		O
	ASA							CV	O
	Image	O	O				O		O
	Other		MF						
특이사항	Layout	O	O		O		O		
	Schedule	O	O	O	O	O	O		
	CAD I	DXF	DXF	DXF	O	O	DXF	D	DXF
	Shadow	O	O			O	O	O	O
	Obstruct	O	O			O	O		O
	Plan	T	T	A	O	A	A	R	A
	Section	T	T	A	O	A	A	R	A
	Batch	O	O			O			O
	Max. No. Area	100	U	1		9	8	10	U
	Max. No. L-Type	50	U	U	100	U	83	34	U

비 교 항 목		1	2	3	4	5	6	7	8
사용자 인터페이스	Tabular	O	O	O	O	O	O		O
	Grapph	O	O	O	O	O	O	O	O
	Meter-U	O	O	O		O	O	O	O
	Device	DKM	KM	DKM	KM	KM	DKM	DKMP	KM
	Help	O	O	O		O	O		O
결과 출력 형 식	PBP	O	O			O	O	O	O
	ISO	O	O			O	O	O	O
	Scale	O	O	O	O	O	O	O	O
	Template	O				O	O	O	O
	3D		O		O	O	O	O	O
	Plotter	O	O	O	O			O	
	Color		O		O		O	O	O
	Graph	O	O	O	O	O	O	ACAD	
	Shade	O	O				O		O
	Printout	O	O		O	O	O	O	O
국제적 통합요소	Language			E					
	Cal								
광학데이터	Manager	IN	IN	IN	IN	IN	IN		O
	Graph		O			O			
	Format	I	I		I	I	ALL	I	I

조명설계 프로그램의 평가표(9~15)

비 교 항 목		9	10	11	12	13	14	15
적용범위	Indoor	O	O	O		O	O	O
	Outdoor	O	O	O	O	O	O	O
	Roadway	O	O	O	O	O	O	
	F or S L	O	O	O	O		O	O
	Stage L	O	O	O	O		O	
하드웨어 사 양	OS	U	D	D	D	W/NT	W/NT	W
	CAD							
	RAM	32M	570K	4M	640K	8M	32M	8M
	Hdisk	50M	10M	10M	2M	M8		15M
	CPU	50M	3/4	4/P	286	4/P	P	486
	Graphics	XII	E/S	VGA	C/S	V/S	OPEN	ALL
	Color	16M	16/256	16	2/16	16/24	8/24	16
모델링 가능한 형태 및 특성	Hor	O	O	O	O	O	O	O
	Ver	O	O	O	O	O	O	O
	I-reflect	O	O	O		O	O	O
	Direct	O	O	O	O	O	O	O
	Surface	O	O			O	O	O
	Road	O	O	O	O	O	O	
	Tilted Plane	O		O	O	O	O	O

비 교 항 목		9	10	11	12	13	14	15
모델링 가능한 형태 및 특성	Tilted Light	O		O	O	O	O	O
	A.I.E		O	O		O		O
	A.O.E		O					
	Daylight	O				O	O	
	VCP	O				O		O
	RVP					O		
	Economy		O					O
	UPD		XP			A		A
	ASA			C/U				
	Image	O	O			O	O	O
	Other							
특이사항	Layout		O	O	O	O		O
	Schedule		O	O	O			O
	CAD I	DXF	DXF	O		O		DWG
	Shadow	O	O	O	O	O	O	O
	Obstruct	O	O	O		O	O	O
	Plan	A	A	A		T	A	T
	Section	A	A	A		T	A	T
	Batch	O	O	O		O	O	
	Max. No. Area	U	8	U	U	5	U	20
	Max. No. L-Type	U	80	U	5	8	U	U
사용자 인터페이스	Tabular		O		O	O		
	Grapph		O	O		O	O	O
	Meter-U	O	O	O	O	O	O	O
	Device	KM	DKM	DKM	DK	KM	KM	KM
	Help		O			O		O
결과 출력 형식	PBP	O	O	O	O	O	O	O
	ISO	O	O	O	O	O	O	O
	Scale		O	O	O	O		O
	Template			O		O		O
	3D	O	O	O		O	O	O
	Plotter			O	O			O
	Color	O	O	O	O		O	O
	Graph		O	O	O	O		O
	Shade	O	O	O	O	O	O	O
	Printout	O	O	O	O		O	O
국제적 통합요소	Language			O			IN	
	Cal			O	O		O	
광학데이터	Manager		IN	EX		IN/EX	I/OTH	BOTH
	Graph		O			O		O
	Format	I	I	I	OTH	ALL		I

위의 평가에 포함된 프로그램 중에서 RADIANCE외에 국내에서 빛환경 설계 및 평가시 많이 사용되고 있는 3가지 프로그램인 SUPERLITE, LUMENMICRO, LIGHTSCAPE에 간략한 개요와 계산결과 등에 관하여 살펴보았다.

1) SUPERLITE

SUPERLITE 프로그램은 LBL(Lawrence Berkeley Lab.)에서 개발한 실내조도계산 프로그램으로 ADELINE 패키지에 포함되어 RADIANCE 프로그램과 같이 연계하여 사용할 수 있으며, 태양과 천공조건, 대지 주변의 방해물, 개구부, 차양장치, 실내공간의 형태에 따른 조도분포를 예측한다(김강수, 1995; Ward, 1996).

SUPERLITE 프로그램에서는 균일 담천공, 표준 담천공, 청천공 등을 시뮬레이션 할 수 있다. 즉 주어진 천공에서의 휘도 분포에 기초하여 바닥, 주변 건물, 외부방해물등의 휘도가 계산된 후 각각의 실내 표면에 대한 휘도가 결정되며 각 표면을 많은 수의 작은 표면으로 분화하여 각각의 표면에 따라 분리 계산된다. 또한 복잡한 기하학적 공간에 대한 해석이 가능하여, ㄱ자형 공간이나, 파티션, 외부 방해불이 있는 공간 등이 모두 해석 가능하며, 커튼이나 블라인드 같은 차양 또한 수치해석할 수 있다.

입력값의 경우에는 화면에 표시되는 순서에 따라 숫자로 입력하게 되고, 결과값은 테이블 형식으로 출력되며, SURFER와 같은 프로그램을 사용하여 결과를 등조도 곡선의 형태로 나타낼 수 있으며, 계산 결과값을 조도, 휘도 및 주광율로 나타낼 수 있다. 프로그램이 무료로 제공되고 있어서 전세계적으로 많은 사용자들이 사용하고 있다.

[그림 2.]는 SUPERLITE 프로그램의 계산 결과를 출력하는 파일을 보인 것이다.

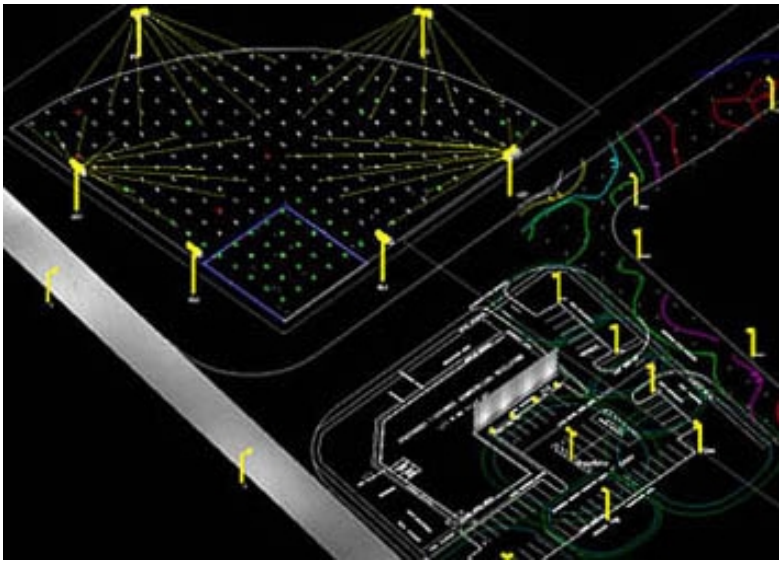
```
 SKY LUMINANCE DETERMINED BY SUN POSITON  DATA
          ALTITUDE ANGLE          40.0 DEG.
          AZIMUTH ANGLE           30.0 DEG.
          ALTITUDE OF STATION      0.0 METERS
          SKY MODEL               2
          GROUND REFLECTANCE      0.20
   SUN ALTITUDE ANGLE =  40.0
   SUN AZIMUTH ANGLE =  30.0 DEG. OFF SOUTH TOWARDS EAST
      DIRECT-SUN TRANSMISSION FRACTION, ALPHA
          WINDOW  1  ALPHA=1.000



      ILLUMINANCE ON A HORIZONTAL SURFACE
          SOLAR COMPONENT=  52519. LUX
          SKY  COMPONENT=  17614. LUX
      ZENITH LUMINANCE=   3259. (CANDELA/M**2)
1

  ************************************************************************
  * DATA FOR WORKING SURFACE NODES; I=SURFACE, K=NODE-NO.            *
  *     X,Y,Z=COORDINATES,                                          *
  *     S=ILLUMINANCE FROM EXTERNAL SOURCES (LUX)                  *
  *     R=INTERNAL REFLECTED COMPONENT (LUX)                       *
  *     I=TOTAL ILLUMINANCE (LUX)       , D=DAYLIGHT FACTOR (PERCENT) *
  ************************************************************************


  *K      1      2      3      4      5      6      7
  I*
  9 X    0.20   0.60   1.00   1.40   1.80   2.20   2.60
    Y    2.92   2.92   2.92   2.92   2.92   2.92   2.92
    Z    0.80   0.80   0.80   0.80   0.80   0.80   0.80
    S   453.51  576.60  748.37  995.94 1376.76 1958.86 2904.33
    R  2137.85 2363.84 2541.27 2687.45 2861.75 3027.04 3135.85
    I  2591.36 2940.44 3289.63 3683.39 4238.52 4985.90 6040.18
    D    14.71  16.69  18.68  20.91  24.06  28.31  34.29


  *K      8      9      10     11     12     13     14
  I*
  9 X    3.00   3.40   3.80   0.20   0.60   1.00   1.40
    Y    2.92   2.92   2.92   1.75   1.75   1.75   1.75
    Z    0.80   0.80   0.80   0.80   0.80   0.80   0.80
    S  4536.91 52098.98 53503.70  637.84  836.35 1122.31 1545.40
    R  3143.12 2963.68 2469.10 2486.09 2719.16 2816.17 2948.01
    I  7680.03 55062.66 55972.80 3123.93 3555.51 3938.47 4493.41
    D    43.60  55.45  60.62  17.74  20.19  22.36  25.51
```

[그림 2.5] SUPERLITE의 계산결과 출력 파일

2) LumenMicro

Lighting Technologies Inc.에서 개발된 실내조도 계산용의 프로그램으로 국내에서도 많이 사용되는 프로그램이다. Lumenmicro는 CAD 프로그램의 DWG(DXF)파일과 연계하여 사용할 수 있는 장점이 있으며 조명 렌더링 프로그램인 Lightscape으로 데

이터를 공급할 수 있어 정확하며 사실적인 조명 효과를 창출해낼 수 있다. 그리고 매우 다양한 디자인 결과표를 만들어 낼 수 있고 편리한 사용자 환경의 인터페이스를 제공하여 쉽게 디자인을 할 수 있다. [그림 2.6]과 [그림 2.7]은 Lumenmicro에 의해 변환된 도면과 시뮬레이션된 이미지 파일을 보인 것이다.



[그림 2.6] Lumenmicro 프로그램의 도면

[그림 2.7] Lumenmicro 프로그램에 의한 이미지 파일

3) Lightscape

미국의 Lightscape Technology에서 개발한 프로그램으로 대상공간을 3차원 가시화할 수 있으며, 계획단계에서 조명을 설치한 경우를 시뮬레이션하여 건축주에게 조명효과를 보이는데 적합한 프로그램이며 입출력기능도 다양하다. 복잡한 형태의 재질의 경우에는 이미지 파일로 입력하여 현실감을 높일 수 있으며, 화면을 연속으로 구성하여 마치 실제 공간 속을 이동하는 느낌을 표현할 수도 있다. [그림 2.8]은 Lightscape 프로그램에 의한 이미지 파일을 보인 것이다.

[그림 2.8] Lightscape 프로그램에 의한 이미지 파일