

## 조명계산용 소프트웨어

金 燾

(강원대학교 전기공학과 교수)

많은 계산을 실수 없이 빠른 시간에 수행해주는 컴퓨터를 단순 계산의 반복이 많은 조명계산에 이용하고자 하는 발상은 자연스러운 것이다. 컴퓨터를 이용하게 되면 종래의 수계산으로는 단순히 실내면의 평균조도를 계산하여 얻을 수 있던 것에 비하여, 복잡한 형상 및 재질로 구성된 실내 및 실외에서 각 면의 조도 또는 휘도분포를 계산하는 것이 가능하게 된다. 또한 최근의 그래픽 기술은 조명 계산의 결과를 단순한 수치만으로 보여주던 것에서 벗어나, 현실에 가까운 정지화상 내지는 동화상의 형태로 보여 줌으로서 조명을 실시하기 이전에 설계가 어떠한 양상으로 구현될 지를 예측할 수 있게 해주고 있다. 이러한 조명계산 소프트웨어를 능숙하게 사용함으로써 설계와 시공과정에서의 실수와 비능률을 방지하고 원하는 조명 상황을 정확히 만들어낼 수 있을 것이다.

현재 세계 각국에서는 여러 용도로 개발된 수많은 조도계산용 소프트웨어가 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 단계의 프로그램이 있

다. 또한 그 용도도 사무공간의 평균조도 계산용에서부터 경기장 조명용, 터널 조명용, 도로 조명용, 광장 조명용, 조정조명용 등 건축과 조명이 개입된 어떤 공간도 대상으로 상정되어 있다. 부가된 기능에 있어서도 조명경계의 계산, 주광의 고려 등 날로 다양해지고 있다.

이렇게 다양한 조명계산용 소프트웨어의 특성을 올바르게 이해하고 제대로 구입하여 사용하기 위해서는 무엇보다도 각종 조명계산법의 원리와 장단점, 그리고 그 한계를 명확히 이해하여야 할 것이다. 이에 더불어 기하학 및 조명경제에 관한 이해와 함께 조명설계의 경험이 요구된다. 또한 조명기구의 갖가지 특성을 정확히 이해하여야 하며, 그 배광 분포 및 실내 마감재의 반사특성에 대한 자료가 있어야 프로그램의 정확한 사용이 가능해진다.

이에 따라 본고에서는 조명계산용 소프트웨어에서 사용되는 계산기법들을 간단히 소개하고, 각종 소프트웨어의 성능을 평가할 때 고려할 사항들을 설명하며, 몇 가지 소프트웨어들을 간략히 소개하여 사용자들의 편의를 돕고자 한다.

### 1. 조명계산용 소프트웨어의 계산기법

실내에서 전기조명이 이용되기 시작한 20세기

초반에서부터, 실내면에서의 조도분포를 계산하는 방법을 확립하려는 노력이 계속되어 왔다. 초기에는 거리의 역제곱 법칙(Inverse-square-law, ISL)을 이용하여, 실내 각 점에서의 조도 분포를 계산하였으나, 이는 광원에서의 직사 조도성분만을 계산할 수 있을 뿐이고 반사성분에 대한 고려는 없으므로, 실내면에서의 사용은 불가능하고 도로나 광장 등 실외에서의 조도계산에만 이용이 가능하다.

1916년, Harrison과 Anderson이 모형에 의한 조명률을 실험적으로 구하고, 이를 이용한 광속법(또는 3배광법)의 표준순서를 마련한 것이 실내면에서의 반사성분까지를 고려한 평균실내면 조도계산의 기초가 되었다. 현재 각국에서는 위의 3배광법, 영국조명학회의 BZ법, 미국조명학회의 ZCM(구역공간법)등을 이용하여 실내조도를 계산하고 있으며, 이중 ZCM은 유효반사율의 개념과 함께 광속전달법까지를 도입하여, 이론과 실험 양면에서 가장 유효한 방법으로 인정되고 있다.

그러나 이들 방법으로는 실내면에서의 평균조도를 구할 수 있을 뿐이고, 작업면이나 벽면 각 점에서의 조도분포는 알 수 없다. 평균조도를 계산하는 것은 조명설계를 실시하려는 방에서 행해지는 작업의 종류 등에 따른 요구조도를 만족시킨다는 양적 측면에서는 충분하다고도 할 수 있으나, 조도의 분포를 모르면 조도분포의 균일성, 분위기 등 질적 측면을 판단하기는 어렵다.

특히 조명의 질을 향상시키는 수단으로 실시되는 task-ambient조명, VDT 사용증가에 따른 휘도 분포 계산의 중요성 등은 실내면의 조도분포를 계산해 주는 조명설계, 소프트웨어의 필요성을 더욱 높여주고 있다. 즉, 설계자가 택한 조명기구와 실내면의 구조, 반사율에 따라 실내 각 점에서의 조도 및 휘도의 분포를 계산할 수 있다면, 이를 이용하여 조명의 질적 수준을 판단할 수 있을 뿐 아니라 실내면의 모습을 재현하는 것이 가능해지므로, 실제 시공 이전의 모의실험으로서 조명수준의 질적 양적 판단에 정확하고 편리한 근거가 될 수 있는 것이다.

미국의 조명회사들에 의해 도입된 컴퓨터는 초기에는 주로 회계용으로만 사용되었으나, 소수의 엔지니어들의 필요에 의해 자발적으로 작성된 기초적인 조도계산 프로그램에 의해 그 용도가 확장되었다. 초기의 프로그램은 광원에 의한 직사 조도 성분 계산에는 ISL을 이용하고, 반사조도 성분 계산에는 3배광법을 이용하였다. 이후 큰 면적의 광원을 면적 분할하여 ISL을 적용하는 기법과 함께, 실내 전체면을 수백 개의 작은 공간으로 분할하여 이들 사이의 상호반사를 계산하여 반사조도 성분을 얻는 기법이 개발되었고, 결과의 정확도도 점차 상승하였다. 70년대 말까지 이용되던 대형 컴퓨터는 그 사용의 복잡함과 더불어, 원시적인 편집 프로그램을 이용하여 수백 개의 데이터를 포함하는 입력과일을 작성하여야 하는 어려움이 조도계산 프로그램의 확산을 크게 제한하였다. 80년대에 들어와 개인용 컴퓨터가 대량으로 보급되기 시작하였고, 이에 따라 PC용으로 전환된 조도계산 프로그램들은 디지털이나 마우스를 이용하는 입력방법의 다양화, 계산된 조도분포를 이용한 실내 이미지의 합성 등 새로운 기술과 기법을 이용하여 더욱 다양해지고 보급이 활발해지고 있다. 또한 광원에서의 빛을 입자로 가정하고 그 경로의 추적에 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 이용하는 방법은 계산속도는 느리지만 정확도가 대단히 높으므로 조도계산 뿐 아니라 조명기구의 배광분포를 예측하거나 정밀한 광학장치의 설계에 사용되고 있다.

현재 시판되거나 보급되고 있는 조도계산 소프트웨어들은 조도계산에 사용하고 있는 기법, 적용할 수 있는 장소의 범위, 출력되는 데이터의 종류들이 상이하므로 그 선택에 신중을 기하여야 한다. 대부분의 프로그램이 실내외에서의 조도분포까지 계산할 수 있으며, 실외에서는 상호반사를 고려하지 않아도 되므로 ISL만으로 계산이 가능하다. 실내조도 계산의 경우에는 직사조도는 ISL을 이용하고, 상호반사 성분은 방사 전달이론(Radiative Transfer Theory)을 이용하여 계산하는 것이 일반적이며, 계산속도를 감안하여 몬테카를로법은 별로 사용되지 않는다. 실내면을 분할하여 계산하는 경우에는 조도와 함께 휘도 분

포까지 계산되며, 세밀한 공간분할이 되면 실내 이미지 합성이 가능하다.

일부 프로그램들은 평균조도 계산법을 이용하여 실내에서의 평균조도를 계산하여주는 것도 있으나, 이는 정확한 조명상황의 예측보다는 조명의 경제성 판단, 기존기구의 리트토피에 대한 가이드, 주광을 고려한 조명기구 대수의 선정, 또는 방대한 조명기구와 광원의 리스트에서 최적의 조합을 선정할 수 있도록 하는 데 주로 이용되고 있다. 이러한 형태의 프로그램은 정부기관이나 전력회사들이 자체 개발하고 무료로 배부하는 것이 많다.

조명기구에 대한 데이터는 각 제조사에서 무료 제공하며, 실내면의 재질에 따른 광학적 특성에 대한 데이터는 실내 마감재 제조사가 제공한다. 북미조명학회(IESNA)와 국제조명위원회(CIE)는 조명기구의 배광특성을 저장하는 데이터 파일의 형식을 표준화하였고, 이를 이용한 각종 조명기구의 자료는 점차 증가하고 있다. 예를 들어 필립스나 Ledalite같은 조명기구 제조사들은 생산하고 있는 조명기구의 배광분포 데이터와 이를 이용하여 조명계산을 수행할 수 있는 소프트웨어를 무료 제공하고 있다. 이는 자사의 배광분포 자료를 사용하여 조명계산을 하게되면 자사의 제품을 사용할 수 밖에 없다는 영업적 이해와 직결되어 있기 때문이다.

## 2. 조명계산 소프트웨어의 성능 평가

IESNA는 매년 조명계산용 소프트웨어들의 성능을 비교하여 이를 공개하고 있다. IESNA가 조명계산 소프트웨어들의 특성과 성능을 분석하기 위하여 이용한 기준들 중에서 중요한 것들을 골라 국내 실정을 감안하여 열거하면 다음과 같다.

### (1) 가격

대부분의 소프트웨어 판매회사는 최초에는 표준 패키지만의 가격을 제시하지만 옵션을 포함하면 가격이 매우 상승하므로 주의하여야 한다. 조명계산 소프트웨어에는 무료로 제공하는 것

(LBL의 RADIANCE)에서부터 미화 10,000불 이상에 이르는 것까지 다양하며, 국내에서 판매되고 있는 소프트웨어 중에는 하드웨어까지 구입할 경우 수천 만원에 이르는 것도 있다. 이 경우 프로그램의 원활한 사용을 위해서는 사용법의 교육을 받아야 하므로, 공급회사가 조명에 대한 경험과 교육능력을 갖고 있는지 살펴보아야 한다.

### (2) 적용범위

어떤 장소에서의 조명 설계에 적용이 가능한가? 주로 설계하게 되는 건축물의 종류에 따라 여기에 대한 조명 설계가 가능한지 살펴보아야 한다. 도로 조명용과 경기장 조명, 무대 조명의 경우는 특화되어 있는 것이 많으며, 실내외용도 구분되는 경우가 많다. 고가의 프로그램은 실내의 구분없이 사용할 수 있는 것도 많으나, 프로그램의 운용을 위해서는 실내면의 형상과 가구비치 등을 일일이 그려 넣어야 하므로 간단한 설계에는 오히려 불편한 경우도 있다.

### (3) 필요한 하드웨어와 소프트웨어

개인용 컴퓨터에서 사용 가능한가, 아니면 중형급 이상의 컴퓨터가 필요한가? 대부분의 조명 프로젝트는 개인용 컴퓨터에서도 충분히 빠른 시간에 계산을 완료할 수 있으나, 형상이 복잡하고 많은 종류의 조명기구를 사용하는 프로젝트라면 워크스테이션 급의 컴퓨터와 여기에서 사용할 수 있는 소프트웨어가 필요하며, 비용도 상승한다.

운용 OS와 CAD 프로그램은 무엇인가? 실내면의 형상 등은 시판되는 CAD 프로그램에서 그리고 이를 조도계산 프로그램에서 읽는 경우가 많으므로, 사용자가 익숙한 CAD 프로그램과 호환성을 갖는 소프트웨어를 구입하여야 한다.

소프트웨어 사용에 필요한 장비는 무엇인가? 계산 결과를 보이기 위한 모니터, 칼라 프린터 등의 종류와 가격도 확인하여야 한다.

### (4) 계산결과

수평, 수직면의 조도가 계산되는가? 벽, 바닥, 천장을 포함한 수평, 수직면의 조도분포, 또는 평균조도 계산이 가능하여야 한다.

상호반사가 고려되는가? 실내면에서 반사를 거친 조도성분을 계산학 위해서는 상호반사를 고려하는 기능이 있어야 한다. 실외조명의 경우에는 반사가 거의 없으므로 중요하지 않다.

휘도 계산이 가능한가? 실제의 조명상황 보임과 눈부심의 판단 등은 휘도, 또는 광속발산도에 의존하며, 이를 계산하기 위해서는 피조면 마감재의 광학적 특성을 알아야 한다. 이들을 고려하여 휘도를 계산하는 기능을 갖고 있다면, 프로그램의 결과와 용도는 대단히 풍부해진다. 도로나 터널 조명용의 프로그램은 휘도계산이 반드시 수행되어야 한다.

기울어진 면의 조도계산이 되는가? 피조면을 구성하는 각 부분이 수평, 수직만이 아니고 기울어지게 할 수 있고, 이 면에서의 조도를 계산할 수 있다면 실질적 조명설계가 가능하다.

주광을 고려할 수 있는가? 주로 주간에 사용되는 장소의 조명설계를 위해서는 주광을 고려할 수 있는 프로그램을 이용하는 것이 바람직하다.

시작업 안락도(Visual Comfort), 사용 전력이나 경제성 평가가 가능한가?

이미지 합성이 가능한가? 계산의 결과에 따라 실내, 실외의 조명상황을 합성하여 모니터나 프린터로 보여주는 기능이 있다면 조명 설계에 큰 도움이 된다.

### (5) 일반적 특성

프로그램에서 조명기구를 몇 종류나 제시하고 있는가?

조명기구 데이터를 프로그램 내부에서 직접 입력 출력하는가?

IESNA나 CIE의 표준파일을 사용하여 조명기구를 마음대로 추가할 수 있는가?

한번의 계산에 고려하는 조명기구 종류는 몇 가지로 제한되며, 몇 개의 조명기구를 사용하는 것이 가능한가? 여러 종류의 조명기구를 다수 사용하게 되는 상황이라면 중요한 요소가 된다.

실외의 경우 건물에 의한 그늘 효과를 고려하는가?

모든 계산이 일괄 작업으로 수행되는가?

### (6) 데이터 입력

표 형식, 또는 그림 형식의 입력이 가능한가?

미터법을 사용하는가?

마우스나 디지털타자를 사용 가능한가?

입력 오류를 체크하는가?

사용자 도움말이 있는가?

### (7) 출력 방식

각 점의 조도, 동조도곡선 출력이 가능한가?

플로터 출력이 되는가?

흑백 농도 조절식의 조도분포 출력이 되는가?

또한 스웨덴의 Svendenius와 Pertola는 조명의 질적 측면 및 에너지 절감의 관점에서, 프로그램사용자와의 친화성, 정확성, 범용성, 신속성 등을 기준으로 조도계산 프로그램들을 평가하였다. 이들에 따르면 상기조건을 모두 만족하는 프로그램은 현재 없으나, 몇몇 프로그램은 앞으로 수년 이내에 유용한 프로그램으로 발전할 가능성을 보이는 것으로 평가되었다. 시판되는 프로그램 이외에도, 유명 조명기구 제조사들은 자체적으로 개발한 프로그램들을 이용하여 조도 계산을 수행하고 그 계산 결과를 이용하여 조명 설계를 실시하고 있다.

## 3. 몇 가지 소프트웨어들

필자는 이 조도 계산 프로그램들 중에서 일부를 다루어 볼 기회를 가졌을 뿐으로 전체 프로그램에 대한 평가를 할 수 있는 위치에 있지는 않으나, 위의 평가들과 필자 나름의 개인적 경험 및 견해를 통하여 몇 가지 유용한 조도계산 프로그램들을 소개하면 다음과 같다. 단 여기에는 필자의 주관이 많이 개입되어 있으므로, 직접 구입하려고 하는 경우에는 자신이 주로 수행하는 조명설계작업의 종류에 따라 프로그램을 선정하고, 판매자와 접촉하여 검본용의 프로그램을 공급받아 사용해본 뒤 신중히 구입할 것을 권한다.

(1) RADIANCE 2.6 : 미 국립 Lawrence Berkeley Laboratory(LBL)의 조명연구팀이 만든 소프트웨어로서 상기 언급된 거의 모든 조건을 만

축하며, 실내외, 도로, 운동장, 무대 조명의 설계가 가능하고 무료로 공급되고 있다. 난 프로그램 크기가 4Mbyte로서 크고, PC용이 아니라 UNIX를 OS로 하는 workstation급에서 사용된다. Internet사용자는 쉽게 이 프로그램을 받을 수 있으며, 개발자 및 사용 경험이 풍부한 사용자들로부터 많은 도움을 받을 수 있다. 즉 인터넷을 이용한 사용자 그룹의 모임이 있어 사용상의 문제에 대한 토론, 정보와 자료의 교환이 이루어지고 있다. 이러한 상황으로 미루어 볼 때, 이 프로그램은 미국의 연구개발 그룹과 고도의 설계를 수행하는 그룹들에게 표준으로 될 가능성이 있다.

(2) ADELIN : 1.0버전은 LBL이 단독 개발한 PC용의 조도계산 프로그램으로 그 기능은 RADIANCE와 거의 비슷하며 \$450에 판매되고 있다. 2.0 버전은 LBL과 덴마크, 스위스, 독일 등이 연구소가 합동으로 개발한 PC용 프로그램 패키지이다. Svendenius들에 의해서도 높은 평가를 받았으며, 인공조명 뿐 아니라, 주광, 온도분포, 시각적 열적 안락성, 냉난방 등을 종합적으로 평가할 수 있는 건물 진단 및 설계에 대한 종합프로그램이다. 1995년 영국에서 개최된 에너지절감 조명 유립대회에서는 이 프로그램을 호평한 논문이 발표되었다.

(3) SUPERLITE 2.0 : LBL에서 개발한 실내조도 계산 프로그램으로 비록 그 기능은 다양하지 않으나 무료로 제공되는 PC용 조도계산 프로그램이다. 필자도 프로그램과 설명서를 보유하고 있으므로 필요한 분은 연락 바란다.

(4) GENESYS 3.20 : Lightolier사 제품으로 주광을 고려하지 않는다는 것을 제외하고 대부분의 조건을 만족하며, 실내외, 도로, 운동장, 무대조명의 설계가 가능하다. 80가지의 조명기구에 대한 동시계산과 이미지 합성이 가능하며 기본가격은 \$200. 기본용 디스크도 얻을 수 있다.

(5) CALAPRO : Holophane사 제품, GENESYS에 비하여 이미지 구성, 경제성 평가가 안되고, 무대조명 설계가 되지 않는다. 조명기구의 종류에 대한 제한은 없다. 가격은 \$995.

(6) LITE PRO 3.0 : 저가이면서도 GENESYS

에 비하여 손색이 없는 기능을 갖고 있는 것으로 보인다. 조명기구 50 가지에 대한 계산, 이미지 합성이 가능하다. Columbia사의 제품으로 \$150로 되어 있으나, CAD와의 호환, 플로터와 디지털타이저 사용이 모두 옵션으로 되어있어 이를 포함시킬 경우 가격은 상승할 것이다.

(7) LUMEN-MICRO 7.0 : Lighting Technologies Inc.에서 개발한 실내조도 계산용의 프로그램으로서 Svendenius들에 의해서도 좋은 평가를 받았다. 특히 사용자가 쉽게 사용할 수 있는 형태로 만들어 졌다고 하며, 입출력 기능도 다양하다. 기본가격 \$695.

(8) AUTO-SITE-LITE, MICRO-SITE-LITE, TUNNERL-LITE : Lighting Sciences Inc.에 의해 개발된 실외조도 계산용 프로그램들로서 광장, 운동장, 트랙, 도로, 터널, 공항 등 다양한 장소의 조명 설계를 실시할 수 있으며, 설계과정에서 각 장소에 필요한 조명 요건을 고려할 수 있도록 되어 있다. AUTOCAD와 호환성이 있고, 국내에도 보유한 회사가 있다. 가격은 비교적 비싼 편으로 각각 \$2,900, \$1,495, \$4,900이나 별도의 옵션은 없다.

(9) Turbo Beam Tracing(TBT) : 동유럽에서 개발하고 일본 회사가 판매하고 있는 소프트웨어로서 화려한 그래픽이 눈길을 끈다. 장식 조명을 실시한 경우의 인상을 미리 파악하거나 건물주에게 조명효과를 보이는 데에 적합한 프로그램으로 생각되나 조명기구의 배광 분포를 IESNA나 CIE의 표준 파일로 읽지 못하는 것이 약점이다. 국내에 판매회사가 있다.

(10) Lightscape : 미국의 Lightscape사가 개발한 프로그램으로 그 용도는 TBT와 유사하나 뛰어난 입출력 기능이 흥미롭다. 즉, 복잡한 형태의 재질은 사진으로 찍어 이를 입력함으로써 현실감을 높일 수 있으며, 가상의 관객이 이동하는 동선과 시선의 방향에 따라 화면을 연속으로 구성하여 마치 실제 공간 속을 이동하는 듯한 느낌을 준다. 기본가격은 \$595이다.

판매되고 있는 조명설계용 프로그램의 종류는 매우 다양하여 위에 언급한 제품들 이외에도 수십 가지가 있으므로 필자로서는 어느 특정 제품

을 추천하기 매우 어렵다. 또한 IESNA의 평가는 자신들이 선정한 기준에 의해서만 제품을 평가하고 있으므로, 각 제품의 다양한 특성을 모두 드러내지는 못한다. 제품에 따라 적용할 수 있는 장소와 사용 목적, 대상으로 하는 사용자가 다르므로 선택에 신중을 기하여야 한다. 많은 사람들이 이러한 프로그램에 흥미를 갖고 있으나, 전문적 지식을 가진 사람은 적다. 판매자에게 상세한 정보를 요구하고, 옵션의 종류와 가격을 반드시 확인하며, 전문가의 도움을 얻어 구입할 것을 권한다.

#### 4. 결 론

우리나라에서의 조도계산은 아직도 유치한 단계에 머무르고 있다고 아니할 수 없다. 평균조도의 계산에 일반적으로는 광속법을 이용하고 있으나, 필수적으로 공급되어야 할 조명기구의 조명률 데이터가 없는 상태에서, 교과서에 나와있는 정도의 데이터를 이용하는 것은 무의미하다고 할 것이다. 극소수의 국내기업에서 미국의 ZCM을 이용한 조도계산을 실시하고 있으나, 국내제품에 대한 데이터가 없는 한 이 방법을 사용하는 것은 외국제품을 사용한다는 것을 전제로 하게 되는 것이다. 이러한 의미에서 평균조도를 계산하는 기본 방식을 재확립하고, 국내에서 생산되는 모든 조명제품에 대하여 그 특성을 측정하고 정리하여 데이터베이스화 하는 작업이 필수적으로 요구된다. 조명기구의 특성은, 그 배광 분포가 가장 기본적인 것이고, 이에 의해 평균조도나 조도 분포의 계산이 모두 가능해 진다. 근래 기술품질 원이나 몇몇 업체에서 배광곡선 측정장비를 도입하고 있는 추세는 국내 조명기술의 직간접적으로 크게 기여할 것임을 믿어 의심치 않는다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 石野幸三, "室内照明設計法", 森北出版, 979
- 2) S. Stannard, "The Evolution of Lighting Software", LD+A, Vol. 22, No.6, June, 1992, pp.21-24
- 3) IESNA, "1996 IESNA Software Survey", LD+A, No. 9, September, 1996, pp. 39-47

- 4) Nils Svendenius, "Searching for Useful Lighting Design Software", Proceedings of 3rd European Conference on Energy-Efficient Lighting, Vol. 1, 1995, pp. 19a24
- 6) Hans Erhorn, "Adeline 2.0-Using Computer Tools to Evaluate Daylighting and Electric Lighting Applications in Buildings", Proceedings of 3rd European Conference on Energy-Efficient Lighting Vol. 1, 1995, pp. 25-31.

#### ◇ 著 者 紹 介 ◇



김 훈(金 燾)

1958년 8월 6일생. 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸. 1983년 서울대 대학원 전기공학과(석사). 1988년 서울대 대학원 전기공학과(박사). 1993년 호주국립대학방문교수. 현재 강원대 공대 전기공학과 교수. 당학회 편수이사.