



## 1. RADIANCE 프로그램의 개요

RADIANCE 프로그램은 미국 국립 Lawrence Berkeley Laboratory(LBL)의 조명연구팀이 개발한 프로그램으로서 1987년 이래로 버클리의 캘리포니아 대학 건축공과에서 사용되어오고 있는 조명 렌더링 및 시뮬레이션 프로그램이다. RADIANCE 프로그램은 UNIX환경의 워크스테이션급 컴퓨터에서 적합하게 실행될 수 있으며, C언어로 컴파일링 되어있다. 표 1은 RADIANCE 프로그램이 실행될 수 있는 사양과 RADIANCE 프로그램에서 사용할 수 있는 파일로 변환할 수 있는 파일 형식을 보인 것이며, 표 2는 GI(Graphics Interface)를 지원하는 환경을 보인 것이다. 표 1에서와 같이 이전까지의 사용환경은 UNIX를 OS로 사용하는 워크스테이션급 컴퓨터에서 실행되었으나, 현재 PC의 Windows 환경에서 사용할 수 있는 Desktop RADIANCE 1.0 이 배포되고 있다.

RADIANCE 프로그램은 무료로 배포되고 있어서 인터넷 사용자는 쉽게 이 프로그램을 얻을 수 있으며, 개발자 및 사용 경험이 풍부한 사용자들로부터 많은 도움을 받을 수 있다. 또한 전세계적으로 인터넷을 이용한 사용자 그룹이 형성되어 있어 사용상의 문제에 대한 토론, 정보와 자료의 교환이 이루어지고

있다. 이러한 상황으로 미루어보아, 앞으로 RADIANCE 프로그램이 미국의 연구개발 그룹과 고도의 설계를 수행하는 그룹들에게 표준으로 될 가능성이 크다고 할 수 있다(김훈, 1997).

표 1. RADIANCE 프로그램의 환경

실행 가능한 환경	변환 가능한 파일 형식
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sun3, Sun4 workstation</li> <li>• DECstation running ULTRIX</li> <li>• Silicon Graphics IRIS</li> <li>• Mac II running A/UX</li> <li>• IBM running AIX</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GDS Things File</li> <li>• IES Luminaire Data</li> <li>• Sun8 and 24-bit Rasterfiles</li> <li>• Architrion Text File</li> <li>• AutoCAD DXF (next release)</li> <li>• Targa 8, 16, 24 and 32-bit images</li> </ul>

표 2. RADIANCE 프로그램의 GI 지원환경

GI(Graphics Interface) 지원환경
<ul style="list-style-type: none"> <li>• X11 8-bit or grayscale and 24-bit color displays</li> <li>• X10 8-bit color or grayscale displays</li> <li>• SunView 8-bit color or grayscale</li> <li>• News color or grayscale</li> <li>• AED 512 color graphics terminal</li> </ul>

## 2. RADIANCE 프로그램의 기본개념

RADIANCE 프로그램은 역광선추적기법(Backwards Ray-tracing Technique)을 기초로 한다. 이것은 광선이 자연적으로 진행되는 방향의 반대 방향으로 추적하여, 실제 광선이 발생한 광원의 활동을 예측하는 것을 의미한다. 그 과정은 눈으로부터 시작하여 공간의 대상물들의 표면들을 따라 모든 물리적 상호작용을 계산하여 광원까지의 광선을 쫓아가게 된다(Ward, 1994).

이러한 개념은 몬테카를로 방법과 광선추적기법에 기본 바탕을 두고 있다. 실제 공간에서 광원으로부터 반사된 광선은 결국 흡수될 때까지 반사, 투과되는데 우리가 실제로 보게되는 장면은 이러한 광선들이 망막에 영상을 만든 것이다. 이처럼 망막에 영상이 맺히게되는 것은 공간내에 존재하는 전체 광선중 일부만이 관찰자의 눈에 들어오므로써 이루어지는 것이므로, 눈으로부터 주변환경을 거쳐 광원으로부터의 광선을 역으로 추적함으로써, 광원으로부터 나온 광선들의 거동을 확인하여 빛환경을 가시화할 수 있게 된다(Crone, 1992).

RADIANCE 프로그램은 대상물의 3차원 기하학적 인 영역에 의한 Scene 파일을 기본으로 하는데, 이러한 3차원 영역은 표면들로 이루어져 있으며 공간의 비어있는 상태가 된다. 이러한 공간의 표면은 각각 정의된 방향을 갖고 있으며, 이러한 방향은 데카르트 좌표계(XYZ좌표)에 기초한다. 기본적으로 X축은 동쪽을 향하고, Y축은 북쪽을 향하며, Z축은 천장을 향한다. 일반적으로 X축을 따라 공간의 주요 표면(예를 들어, 대상실의 벽과 같은 수직평면)을 위치시키고, 그에 따라 나머지들을 정렬하는 방식으로 진행하게 된다. 좌표는 길이 단위로 주어지게 되며, 대상공간에서 길이는 상대적으로 작용하게 된다. 각 표면은 오른손 법칙에 따라 좌표의 입력순서가 시계반대방향일 때 사용자가 보는 면(바깥쪽 면)으로 인식된다(반대의 경우에는 안쪽면이 되는 것).

RADIANCE 프로그램 내부에서 사용되는 광선은

[W/m<sup>2</sup>sr]로 표현되는 복사에 의해 이루어진다. 이러한 복사는 red, green, blue의 세가지 주요 색채에 의해 세가지 채널(RGB)로 나누어 지게 된다. 그에 따라 총 복사값은 세가지 채널에 의해 공급된 Rr, Rg, Rb의 합으로 구성된다.

이러한 색채널에 의해 광선을 모델링하는 방법은 빛의 스펙트럼 분포가 좁은 파장대역에서 많은 채널을 사용할 경우에 비교적 정확하지 못한 결과를 낼 수도 있으나, 재료나 천공에 대한 색을 표현할 경우에는 유용한 결과를 얻을 수 있다(예, CIE XYZ좌표계)(Compagnon, 1997).

## 3. RADIANCE 프로그램의 구성요소

### 3.1. RADIANCE 프로그램의 기본요소

RADIANCE 프로그램은 다수의 독립된 프로그램 모듈로 구성되어 있어서 3차원 공간의 기하학적 모델링에 필요한 도구, 광원 및 재료의 광학적 특성을 모델링하는데 필요한 도구, 계산결과를 가시화하여 이미지 파일을 작성 및 변환하는 도구, 눈부심 현상을 분석하여 가시화하는 도구 등 빛환경의 모델링 및 분석, 평가에 필요한 거의 모든 기능을 제공하고 있다(Crone, 1992; Ward, 1998).

그림 1은 RADIANCE 프로그램의 3가지 기본모듈을 보인 것이다.

입력모듈에는 대상공간의 3차원 기하학적 요소와 천공 및 인공조명을 모델링하기 위한 광원데이터, 그리고 공간에 사용된 재료 및 반사율, 투과율을 입력한다. 계산 모듈에서는 입력모듈서의 데이터를 모두 조합하여 모델링하여 대상면의 조도 및 휘도분포를 계산하고, 이미지 생성을 위한 관측점, 관측방향, 관측각도를 지정한다. 이러한 지정에 따라 이미지 파일을 생성하고 크기 및 밝기를 조절하여 원하는 이미지를 출력한다.

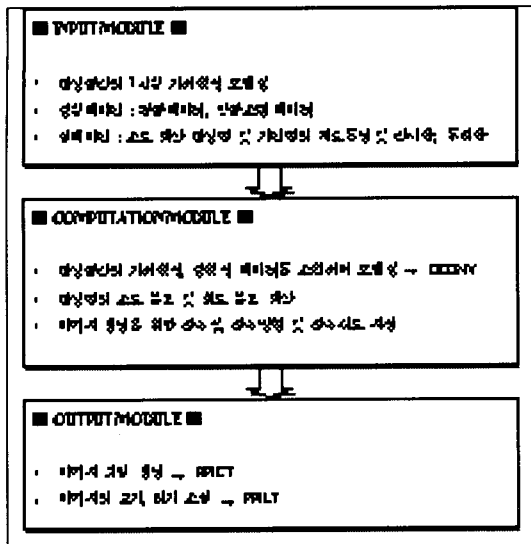


그림 1. RADIANCE 프로그램의 기본모듈

### 3.2. RADIANCE 프로그램의 구성 파일

표 3은 위의 과정에 따른 RADIANCE 프로그램의 내부의 파일 형식을 보이고 있다. 각각의 텍스트 파일은 사용자가 직접 작성하여 적용되는 파일이며, 바이너리 파일은 RADIANCE 프로그램내에서 시뮬레이션 및 변환된 파일이다. 텍스트 파일외의 바이너리 파일들을 생성하는데에 사용된 모든 명령어와 매개변수의 목록을 보기 위해서는 GETINFO 명령을 사용한다.

### 3.3. RADIANCE 프로그램의 기본 흐름

그림 2는 RADIANCE 프로그램의 구성 및 데이터 처리과정을 보여주는 것이다. 사용자는 RADIANCE 프로그램에서 제공하는 Generator(기본적인 텍스트 파일 편집기)를 이용하여 대상공간의 기하학적 자료를 입력하여 \*.rad(Scene file) 파일을 작성한다. 같은 형상이 다수 존재할 경우, 하나의 형상을 모델링하여 XFORM 명령에 의해 여러곳에 복사하고 회전시킬 수도 있다.

그러나, ACAD2RAD 또는 TORAD와 같은 보조 변환 프로그램을 이용할 경우 3차원으로 작성된 AutoCAD 파일로부터 대상실의 기하학적 자료를 갖

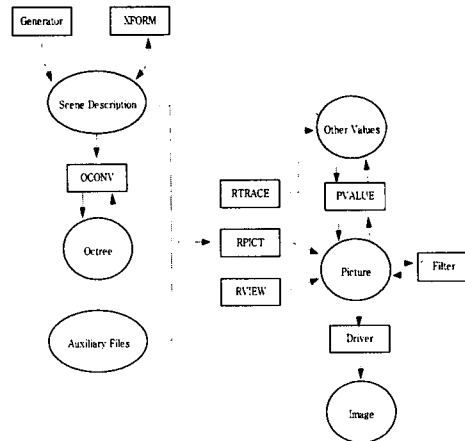


그림 2. RADIANCE 프로그램의 기본흐름

표 3. RADIANCE 프로그램의 파일구성

파일형식	확장자	파일타입
• Scene-Materials and geometry definitions	.rad	Text
• Numeric data tables	.dat	Text
• Functions	.cal	Text
• Intermediate data to calculate glare indices	.힘	Text
• Progress reports	.log	Text
• Parameters defining a RADIANCE project	.rif	Text
• Octree-compiled version of a scene	.oct	Binary
• RADIANCE picture	.pic	Binary
• Ambient illuminance values	.amb	Binary
• TIFF format picture	.tif	Binary

는 \*.rad 파일을 자동 생성할 수 있게 되는데 이러한 경우 사용자는 텍스트 편집기를 이용하여 대상물의 재료특성의 모델링만 추가적으로 해주면 된다.

위와 같은 방법에 의해 대상공간의 기하학적, 광학적 모델링이 완료되면 OCONV 명령을 실행하여 광선추적기법을 적용하기 위한 octree 파일, 즉 \*.oct 파일로 변환한다.

그리고 RVIEW, RPICT, RTRACE 등의 명령에 의한 광선추적 결과로부터 조도 분포 및 휘도 분포

값을 계산하고, 그 결과로부터 이미지 파일인 \*.pic 파일을 생성한다. \*.pic 파일은 PFILT 명령과 같은 그래픽 필터를 이용하여 이미지의 크기나 밝기를 조절하고 화면에 이미지를 가시화하게 된다. 이미지의 생성을 위하여 사용자는 RVIEW, RPICT 명령에 관측점, 관측방향 및 관측각도 등을 지정하는 매개 변수를 입력하여야 한다(양혜인, 2000).

#### 4. RADIANCE 관련 주요 적용분야

##### 4.1. 자연채광 및 인공조명 설계안의 정량적, 정성적 평가

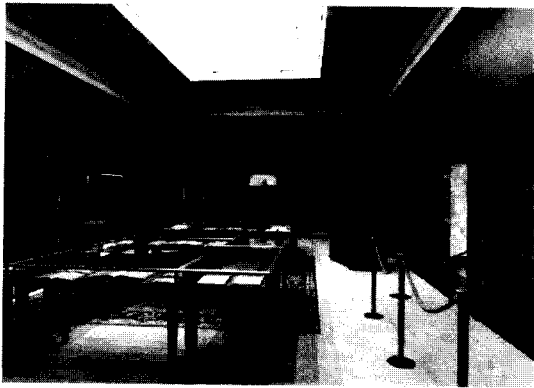


그림 3. 천창을 갖는 전시공간의 자연채광 효과의 가시화



그림 4. 자연채광에 의한 조도분포

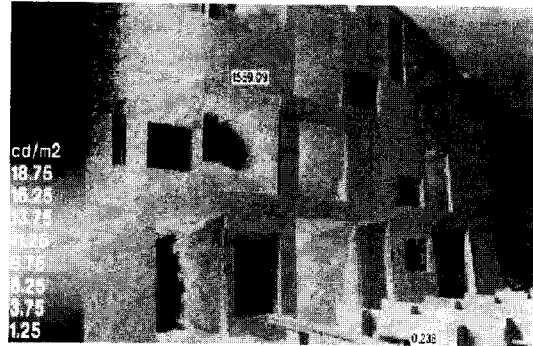


그림 5. 룡상성당의 자연채광에 의한 휘도분포

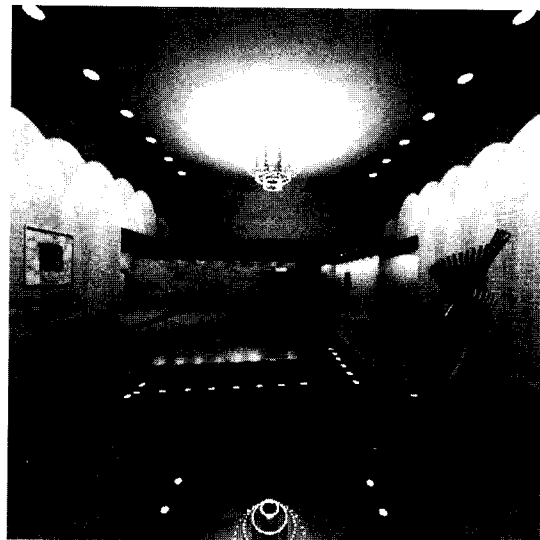


그림 6. 샹들리에와 월워셔(Wall Washer)에 의한 조명설계안의 가시화

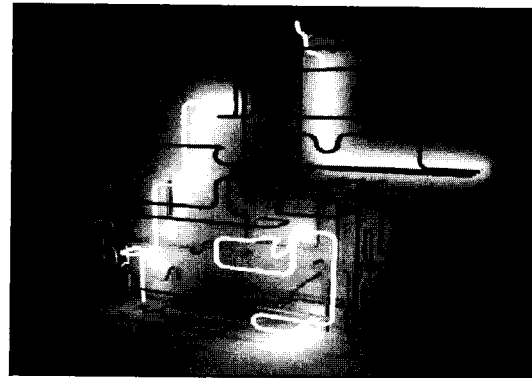


그림 7. 비온광원의 가시화

##### 4.2. 야간 경관조명 설계안 시뮬레이션

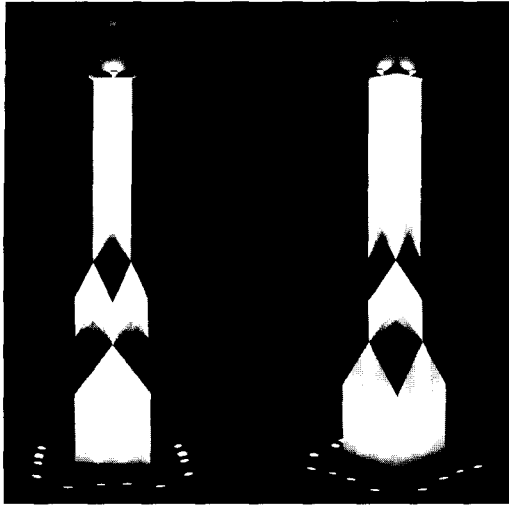


그림 8. 탑의 야간 경관조명 가시화

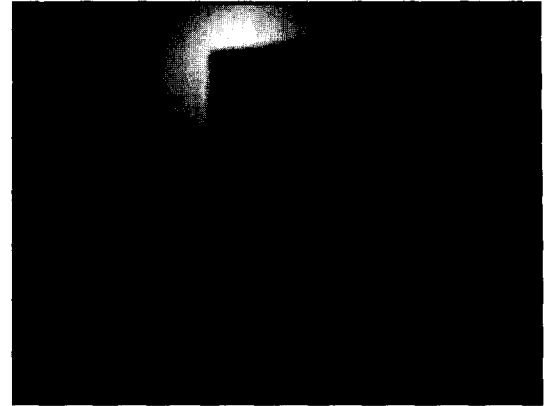


그림 11. 광학적 투과 및 굴절 가시화

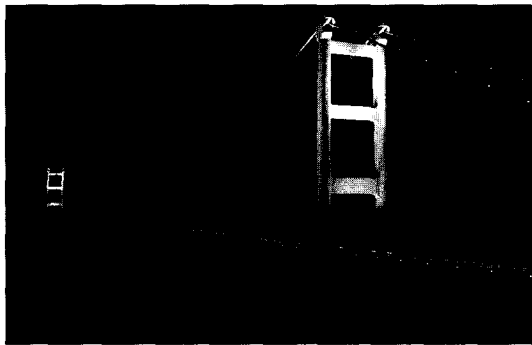


그림 9. 교량의 야간 경관조명 가시화



그림 12. 연무에 의한 빛의 산란 가시화

#### 4.3. 기타 적용분야



그림 10. 무대조명의 가시화

### 5. RADIANCE 관련 주요 적용사례

#### 5.1. KOSMO TOWER 야간 경관조명

RADIANCE프로그램의 정확성을 검증하기 위하여 서울 강남구 대치동에 위치한 한국담배인삼공사 본사 사옥의 야간 경관 조명을 시뮬레이션한 것이다. 시뮬레이션에 의한 휘도 분포 값과 휘도계로 측정된 값을 비교하였다. 그림 13~그림 14는 RADIANCE로 가시화된 KOSMO TOWER의 이미지 이다.

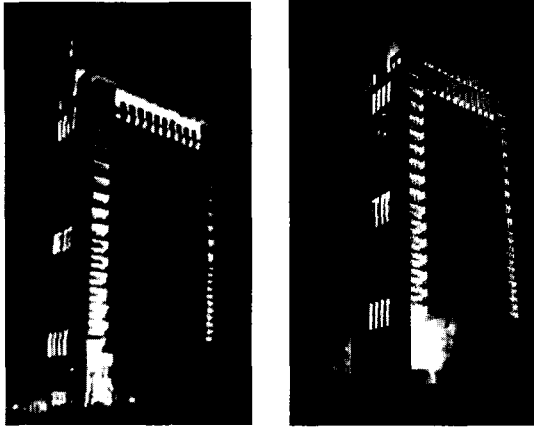


그림 13. KOSMO TOWER의 사진이미지(좌)와 RADIANCE 가시화 이미지 (우)

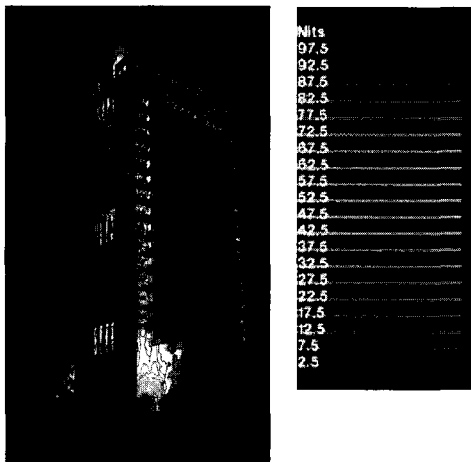


그림 14. KOSMO TOWER의 휘도분포

### 5.2. 부산 감만 부두 조명탑에 의한 눈부심 현상 분석 및 개선안 도출

우리나라 최대 컨테이너 부두인 부산 감만 부두의 야간 조명이 부산항을 출입하는 대형 선박 운항자에게 눈부심 현상을 초래하고 바다의 부표를 볼 수 없게 만드는 문제를 해결하기 위하여 본 연구실과 한국해양연구소가 공동으로 수행한 프로젝트이다.

개선안의 기본 원칙은 기존의 부두 바닥면 조도 분포는 그대로 유지하고 운항중인 선박에 대한 눈부심 현상만을 감소시킨다는 것이었다.

일반 백열등에 쬐우는 조명탑에 착안하여 조명탑  
照明・電氣設備學會誌

을 설계하고 설계된 조명탑이 위의 두 조건을 만족시키는지의 여부를 RADIANCE 시뮬레이션에 의해 검증하는 방식으로 연구가 수행되었다. 그림 15 ~ 그림 18은 본 프로젝트에서 생성된 RADIANCE 이미지의 일부이다.

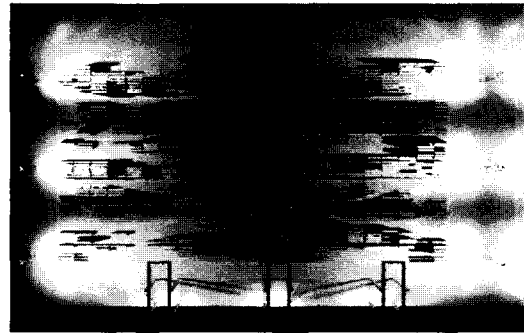


그림 15. 조명탑을 설치하지 않은 기존상태에서 컨테이너가 아적된 부두 바닥면 조명 분포

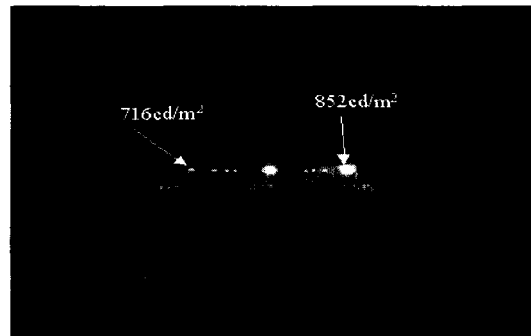


그림 16. 조명탑 설치전 RADIANCE 가시화 이미지

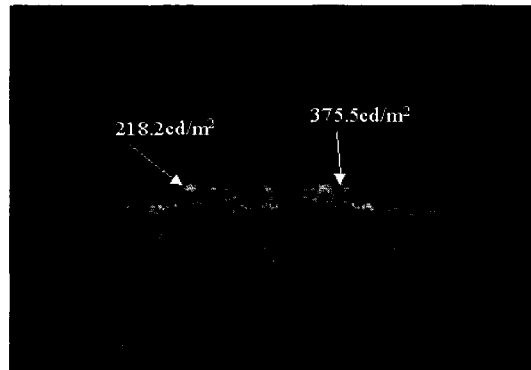


그림 17. 조명탑 설치후 RADIANCE 가시화 이미지

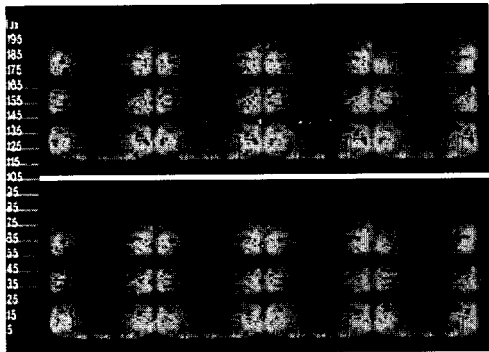


그림 18. 조명기를 설치하지 않은 기존의 상태(상)와 조명기를 설치한 상태(하)에서 부두에 컨테이너가 야적된 바닥면 조도

### 5.3. 서울시 잠원동 OO골프 연습장

#### 야간 조명 설계

새로 건설되는 잠원동 OO골프연습장을 대상으로 필요조도에 따른 기본 조명설계를 실시하고, 야간에 골프연습장을 이용할 경우 주간과 같은 밝은 시환경을 제공하기 위하여 많은 조명기구들을 사용하고 있으며 제대로 설계 및 제어되지 못할 경우 조명기구로부터 방사된 빛이 인근 주거용 건물로 유입되어 인근 주민들에게 눈부심 현상을 유발시키는 문제점들이 발생될 가능성이 있기 때문에, 인근 주거용 건물에서 눈부심 현상이 유발되지 않도록 각 설계안에 따른 차양막을 설치하여 조명설계 지침을 제시한 프로젝트이다.

그림 19~그림 23은 본 프로젝트에서 생성된 RADIANCE 이미지의 일부이다.

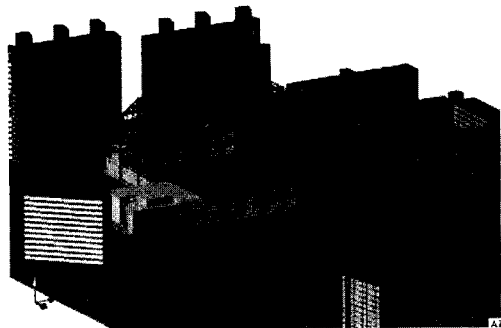


그림 19. 골프연습장을 중심으로한 주변 건물들의 3-D 모델

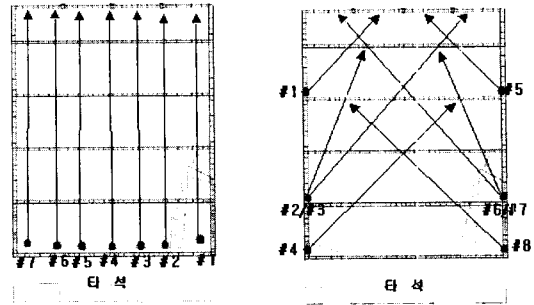


그림 20. 조명설계 A안(좌)와 조명설계 B안(우)

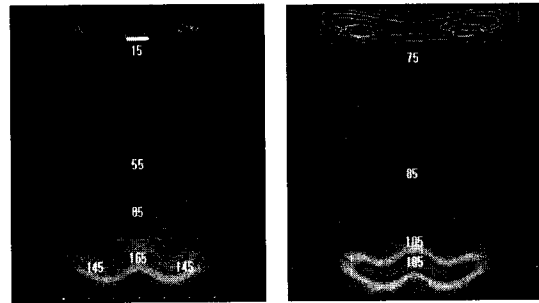


그림 21. A안(좌)과 B안(우)의 수평면 조도분포

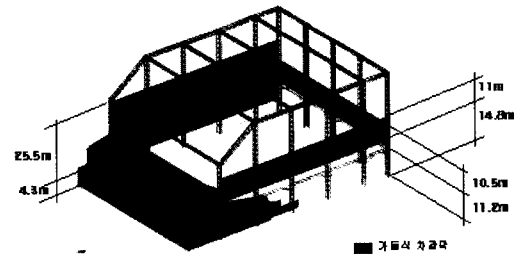


그림 22. 조명설계 A안에 대한 차양막 설치위치 및 크기

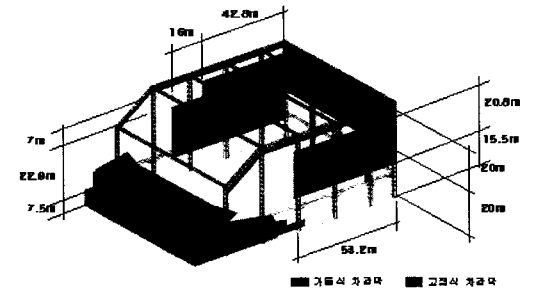


그림 22. 조명설계 B안에 대한 차양막 설치위치 및 크기

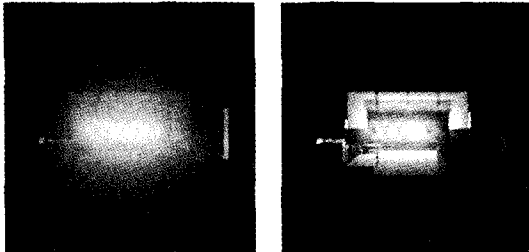


그림 22. 정면에서본 조명설계 A안의 차광막 설치전 (좌)과 설치후(우)의 눈부심 현상 시뮬레이션 결과

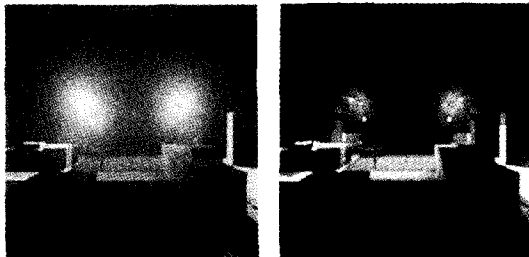


그림 23. 정면에서본 조명설계 B안의 차광막 설치전 (좌)과 설치후(우)의 눈부심 현상 시뮬레이션 결과

## 6. 결 론

RADIANCE 프로그램은 역광선추적기법(Backwards Ray-tracing Technique)을 바탕으로 하여 자연채광 및 인공조명의 정확한 정량적, 정성적 평가 모두가 가능한 유용한 프로그램이다.

또한, RADIANCE 프로그램은 3차원 공간의 기하학적 모델링에 필요한 도구, 광원 및 재료의 광학적 특성을 모델링하는데 필요한 도구, 계산결과를 가시화하여 이미지 파일을 작성 및 변환하는 도구, 눈부심 현상을 분석하여 가시화하는 도구 등 빛환경의 모델링 및 분석, 평가에 필요한 거의 모든 기능을 제공하고 있어 다양하고 폭넓게 활용될 수 있다.

RADIANCE 프로그램은 다른 조명 시뮬레이션 프로그램인 Lightscape, Lighttools, Lumen Micro 등과 다르게 소스코드 자체가 무료로 배포되기 때문에 사용자가 부담없이 쉽게 접할 수 있을 뿐만 아니라,

가장 큰 단점이라고 볼 수 있는 사용환경에 있어서도 Windows 환경에서도 작동이 가능한 Desktop RADIANCE가 개발되어 활용되고 있으므로 우리나라에서도 급속하게 사용자 그룹이 형성되어 활용될 것으로 보인다.

## 참 고 문 헌

- (1) 김 훈, 1997. 조명전기설비학회지, 제11권 제 2호, pp. 23~28.1.
- (2) 양혜인, 2000. RADIANCE 프로그램에 의한 빛환경 설계 및 평가의 타당성 검증. 한양대학교 대학원 석사학위 논문.
- (3) Compagnon, R. 1997. RADIANCE: A Simulation Tool for Day-Lighting Systems. University of Cambridge.
- (4) Compagnon, R. 1997. The Radiance Simulation Software in the Architecture Teaching Context. University of Cambridge.
- (5) Crone, S. 1992. Rendering Reality. Architectural dissertation, Lighting Systems Research Group at Lawrence Berkeley Laboratory.
- (6) Ward, G. J. 1994. The RADIANCE Lighting Simulation and Rendering System. Computer Graphics(Proceedings of '94 SIGGRAPH conference).
- (7) Ward, G. L. 1998. Rendering with Radiance: a Practical Tool for Global Illumination. Silicon Graphics, Inc.

## ◇ 著 者 紹 介 ◇



송 규 동(宋圭棟)

1957년 1월 4일. 1986년 한양대학교 대학원 건축공학과 공학석사 취득. 1989년 미국 University of Oklahoma, College of Architecture 건축학석사 (MArch) 취득. 1993년 미국 Texas A&M University, College of Architecture 건축학박사 (Ph.D.) 취득. 1994년~현재 한양대학교 공학대학 건축학부 교수.