

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 23, No. 1, 2003

채광성능 평가용 시뮬레이션 프로그램의 비교분석

A Comparative Evaluation of Daylighting Performance Software : Lumen-Micro, Adeline and Lightscape

김정태*, 정유근**, 문기훈***

J. T. Kim*, Y. G. Chung**, G. H. Moon***

Key words : 자연채광(daylighting), 채광용 소프트웨어(daylighting software), 채광성능(daylighting performance), 채광 시뮬레이션(daylighting simulation)

Abstract

Three of the leading computer daylighting simulation programs are compared with physical modeling techniques as a means of predicting daylighting performance of interior spaces. Lumen-Micro, Adeline and Lightscape are compared with physical model experiments under clear sky conditions. The comparative evaluations are conducted on analysis of daylight illuminance ratio(%) depending on model types. The estimated average errors are analyzed on 9.4% in Lumen-Micro, 6.3% in Adeline and 3.4% in Lightscape. Therefore, it is proved that three programs are useful for evaluating daylighting performance in our clear sky condition.

1. 서론

자연채광을 효과적으로 이용하면 에너지 절약뿐만 아니라 밝고 쾌적한 실내 환경을 조성함으로써 작업성능을 향상시키고 역동적인 실내 분위기를 조성할 수 있다. 이러한 자연채광 기술은 생태

건축 계획을 위한 기본기술의 하나로 그 활용가능성이 매우 높다.

그러나 자연채광을 이용할 수 있는 조건에서도 많은 건축가들은 자연채광을 충분히 활용하지 못하고 있다. 더구나, 종종 자연채광을 이용한 건물도 잘못 응용되어 오히려 에너지를 과다

* 경희대학교 교수, 공학박사
** 경희대학교 박사후연구원
*** 경희대학교 채광조명시스템연구실 연구원

* Professor, Ph. D., Kyung Hee University
** Post Doc., Kyung Hee University
*** Researcher, Light and Architectural Environment Lab., Kyung Hee University

하게 소비하거나 시각적 불쾌감을 조성하는 경우도 있다.

자연채광이 적절히 사용되지 못하는 가장 큰 이유는 자연채광 건물의 채광성능을 정확히 예측하기 어렵다는 점이다. 즉 실제 건축에 자연채광을 적용하기에는 디자인이 복잡하며 경제적 타당성을 검토하기가 어려워 사용을 꺼리고 있다.

그러나 지난 1980년 이후 컴퓨터를 이용한 다양한 채광성능 예측방법이 개발되어 왔다. 채광성능 평가용 시뮬레이션 프로그램은 기상조건 및 관련변수를 다양하게 변화시키며 채광성능을 간단히 평가할 수 있다.

또한, 최근 컴퓨터 그래픽 기술의 발달로 수치적인 데이터에 더하여 실내 시환경의 시각적 가시화가 가능하게 되었다. 그러므로 채광성능의 현실적인 화상생성이 가능해 일반인도 채광 효과를 손쉽게 판단할 수 있다.

본 연구는 보다 효과적인 자연채광 설계를 위해서 기존에 개발된 채광성능 평가용 시뮬레이

션 프로그램을 우리나라 기상조건에 맞추어 비교분석하여 프로그램의 유용성을 평가하는데 연구목적이 있다.

이를 위해서, 먼저 국내에서 많이 활용되고 있는 다양한 채광성능 시뮬레이션 프로그램의 특성을 문헌적으로 고찰하였다. 그 후, Lumen-Micro, Adeline 및 Lightscape 프로그램을 평가대상으로 선정하였다.

각 소프트웨어의 시뮬레이션과 같은 조건에서 축소모형실험을 실시하고 그 결과를 분석하여 선정된 소프트웨어의 성능을 비교하였다. 연구 결과는 앞으로 자연채광 이용의 활성화에 크게 기여할 것으로 기대된다.

2. 프로그램의 종류 및 특성

Waldram의 연구로 시작된 자연채광 성능예측 방법은 1970년대 컴퓨터 기술의 발달로 수치적 계산을 보다 빠르게 계산할 수 있는 Quicklite

표 1. 채광 소프트웨어의 종류 및 특성 (LA+A, 2002)

특 성		프로그램					
		Lumenmicro	ADELIN	Lightscape	Radiance	Auto Master	Light
분석 내용	실 내	0	0	0	0		
	실외·도로	0	0	0	0	0	0
	스포츠	0	0	0	0	0	*
	무대조명	0	0	0	0		*
하드 웨어	운영체제	win/NT	DOS/win	win/NT	win/NT/UNIX	DOS/win	win
	시스템용량	16M	16M	64M	32M	12M	32M
분석 범위	측정점조도	HV	HVS	HVS	HVS	HVS	
	수평면조도	HVS	HVS	HVS	HVS	HVS	HVS
	경사작업면		0	0	0	0	0
	직사일광	0	0	0	0	0	0
	내부반사광	0	0	0	0	0	
	비확산광		0	0	0		0
	표면휘도	0	0	0	0		
	자연채광		0	0	0		0
프로 그램 특성	경제성분석		0	0	0		
	3D이미지	0	0	0	0	0	
	CAD와의 호환성	DXF	DXF	DXF	DXF, MGF	DXF	
	내부장해물	0	0	0	0		
	조명기구수	un	un	un	un	un	un
	등조도곡선	0	0	0	0	0	0

등의 소프트웨어를 시작으로 다양한 소프트웨어가 개발되어 건축계획에 응용되고 있다.

최근, 컴퓨터 그래픽 기술의 발달로 설계단계에서 아직 지어지지 않은 건축물의 빛환경의 시각적 성능을 가시화하는 것이 가능하게 되었다. 이를 통하여 수치적인 데이터뿐만이 아니라 보다 효과적인 채광효과 평가가 가능하게 되었다.

현재 사용되고 있는 채광성능 평가 시뮬레이션 프로그램으로 IESNA(Illuminating Engineering Society of North America)가 조사한 내용을 정리한 결과는 (표 1)과 같다 (LD+A, 2002, 11.).

2.1 Lumen-Micro 프로그램

Lumen-Micro 프로그램은 미국 "Lighting Technologies"사에서 개발된 실내 채광 및 조명환경의 성능분석을 위한 컴퓨터 프로그램으로서 자연채광과 인공조명의 성능을 동시에 분석할 수 있으며 상호 보완적인 조명계획을 할 수 있다.

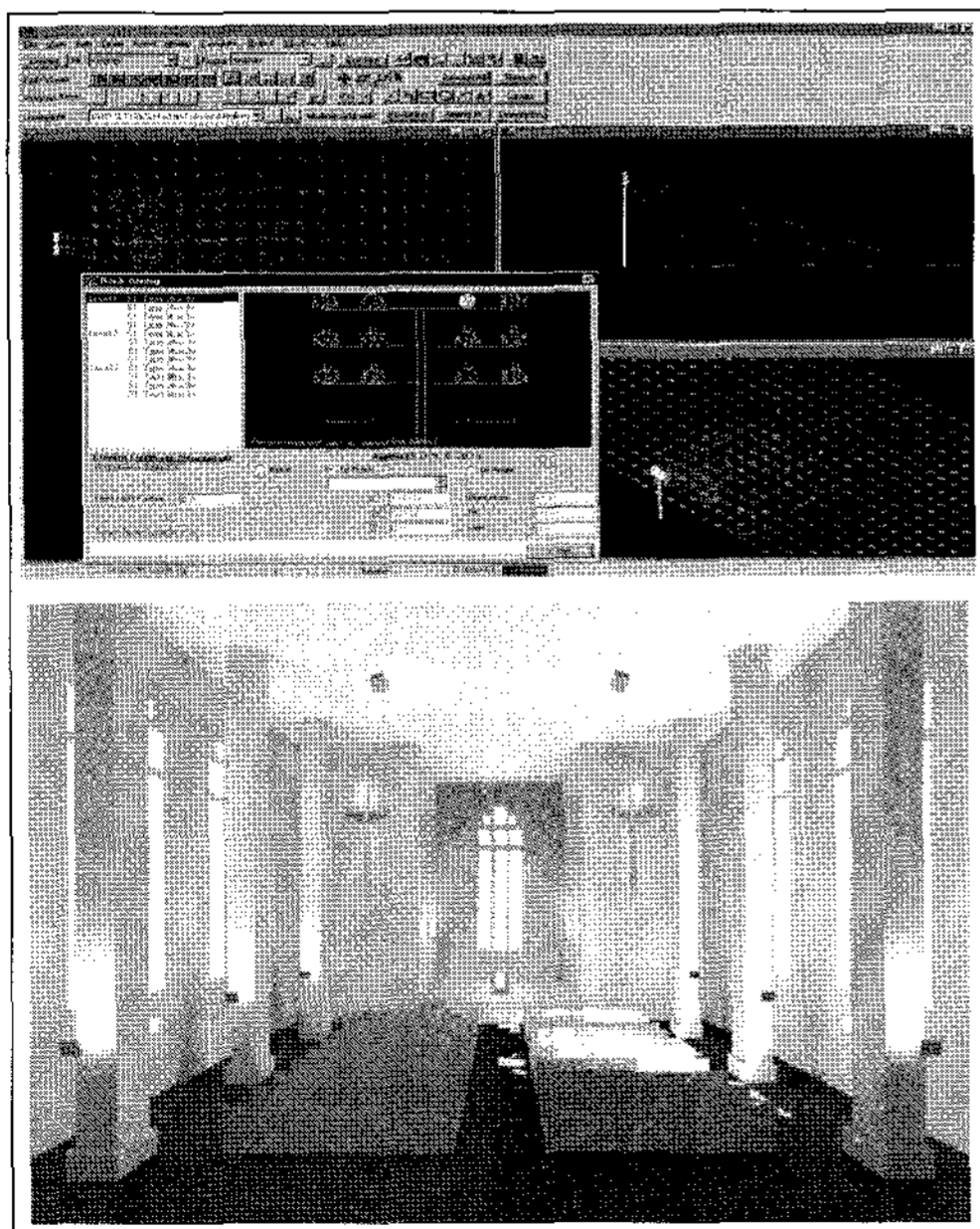


그림 1. Lumen-Micro 예

이 프로그램은 Zonal Cavity Method를 이용한 것으로 수평 및 수직면 조도 계산이 가능하다. 또한 표면의 휘도분석 및 시각화가 가능하며 실내 장애물을 포함하여 수직 간막이 등이 미치는 영향도 해석이 가능하다.

이 프로그램은 기본적인 그래픽 기능을 지니며 또한 CAD 프로그램에서 작업한 모델을 DXF형태로 Interface가 가능하다. 분석결과는 조도 분포도와 이미지 일러스트레이션 기능을 갖추고 있어 조명원의 시각적인 영향도 파악할 수 있는 장점이 있다.

2.2 Adeline 프로그램

미국 LBNL(Lawrence Berkely National Lab.)에서 개발된 Adeline 프로그램은 DOS 운영체제로 실행되어 사용이 다소 어려우나

복잡한 실 형태의 채광성능 평가가 가능한 효과적인 채광성능 평가용 소프트웨어이다.

광속전달법(Flux Transfer Method)을 이용하여 채광성능을 계산하며 (그림 3)와 같이 다섯 가지 요소(Scribe Moduller, PLink, Super-

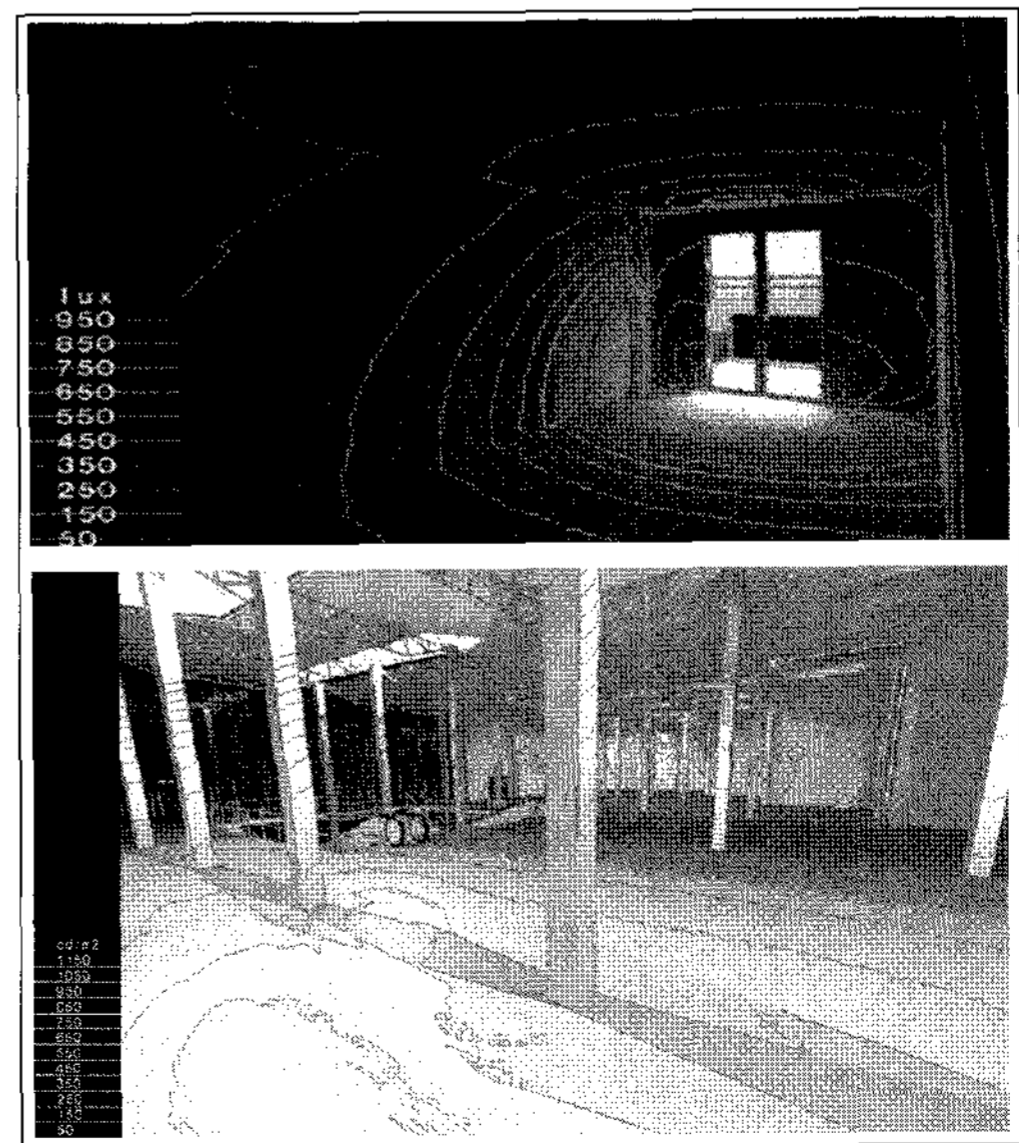


그림 2. Adeline 예

lite, Radiance, Superlink와 Radlink)로 구성 되어 있다.

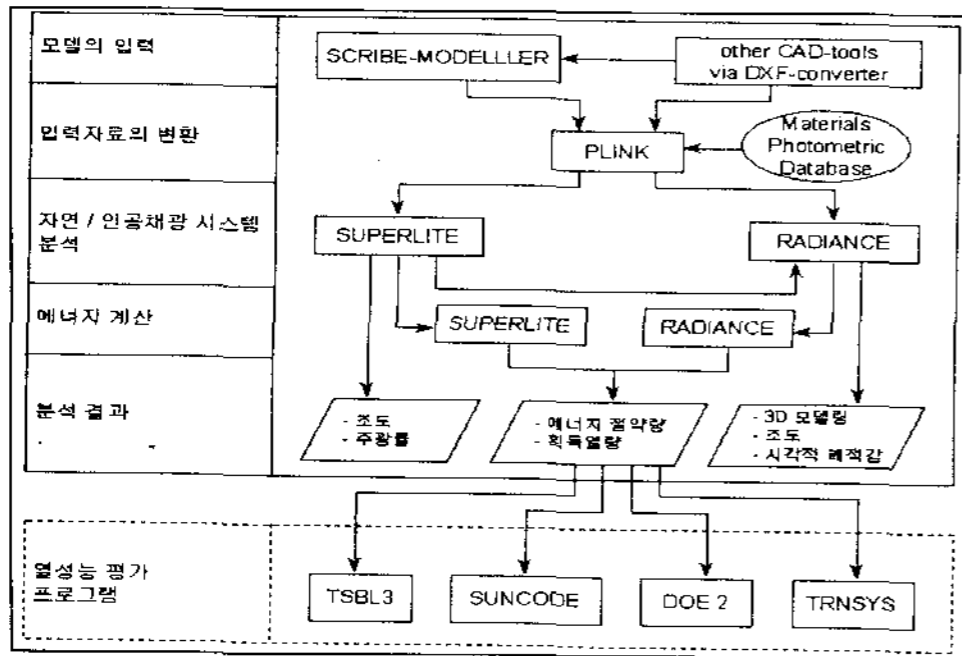


그림 3. Adeline 프로그램의 구성

Scribe Modeller는 입력모델을 그리기 위한 CAD 시스템이며 Plink는 연계하여 작성된 모델을 입력파일로 전환시켜준다. 또한, Superlite는 광속전달법에 의해 자연채광 성능을 평가하며 주광율과 자연채광 조도를 예측할 수 있다.

Radiance는 광선추적(Ray-tracing) 기법을 이용하여 조도 및 휘도계산이 가능하다. 또한, 평가대상 공간을 시각화하여 가상현실에 의한 시 환경 평가가 가능하다. 마지막으로, Superlink와 Radlink는 Superlite와 Radiance에 의한 자연채광 성능 해석결과를 이용하여 에너지해석을 하는 프로그램이다.

2.3 Lightscape 프로그램

이 프로그램은 "Lightscape Technology"에서 개발한 프로그램으로 Autodesk사에서 판매하고 있는 조명 렌더링 및 시뮬레이션 프로그램이다. 광속전달과 광선추적을 함께 사용하여 3차원 이미지를 만들 수 있다.

입출력 기능이 다양하며 복잡한 형태의 재질을 이미지 파일을 이용하여 현실적인 표현하며 화면상에서 대화식의 연속적인 표현이 가능하다. 또한, 자연채광과 인공조명 성능의 정량적 평가와 정성적 평가가 가능하다.

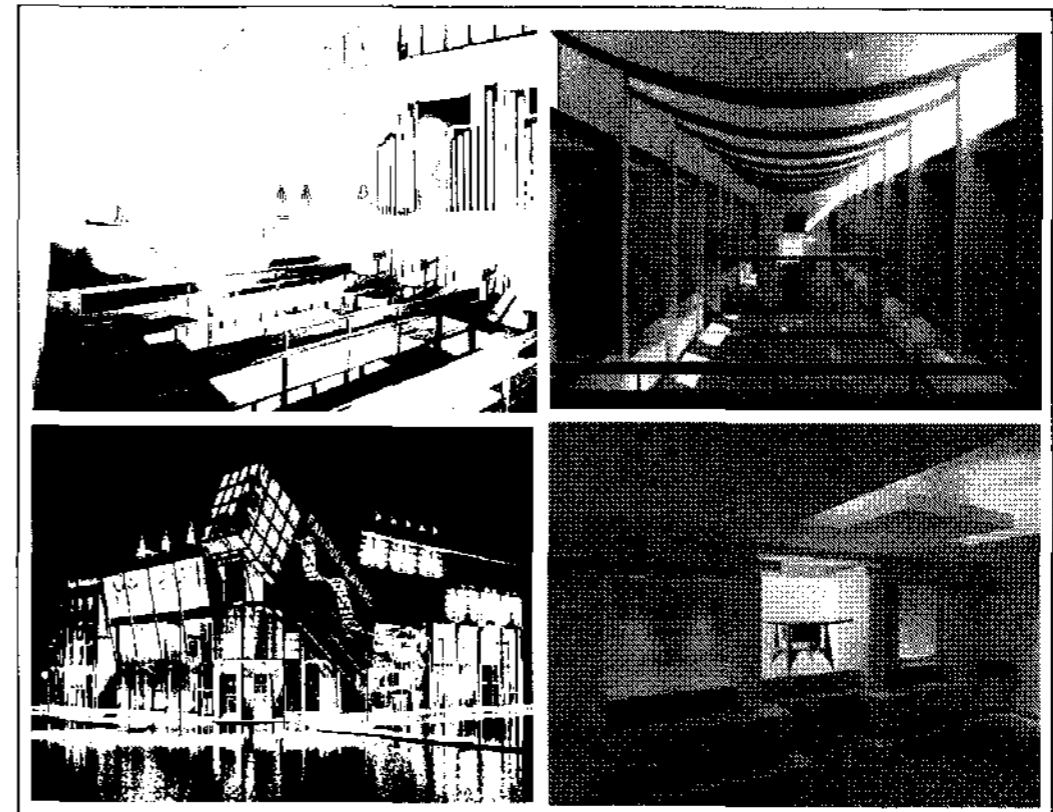


그림 4. Lightscape의 예

2.4 Radiance 프로그램

Radiance 프로그램은 미국 LBNL의 조명연구 팀이 개발한 프로그램으로 Unix 버전을 비롯하여 DOS버전, Windows 버전이 개발되었다. 이 프로그램은 현재 인터넷을 통하여 무료로 배포되고 있다.

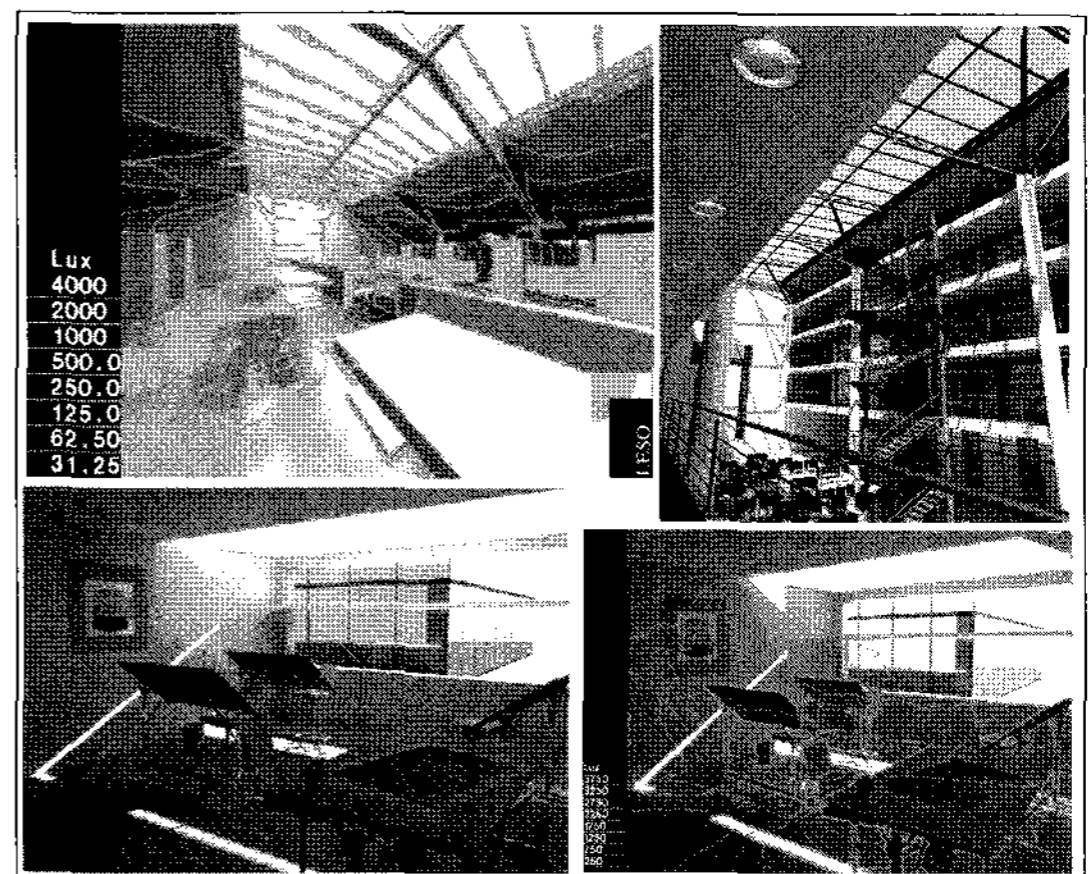


그림 5. Adeline의 예

Radiance 프로그램의 채광해석 방법은 관찰자에서 광원으로 빛을 거꾸로 추적하는 역광선추적(Backward Raytracing Technique) 기법을 사용하여 양방향 반사면 또는 빛의 투과·확산성에 대한 분석이 가능하다.

3. 채광성능 평가용 프로그램의 성능

국내에서 주로 통용되는 채광성능 예측용 프로그램으로 Lumenmicro, ADELINe 및 Light-scape 프로그램의 유용성을 비교분석하였다. 이를 위해서 컴퓨터 시뮬레이션과 같은 조건에서 축소모형 실험을 실시하고 그 결과를 비교·분석하였다.

3.1 Lumen-Micro 프로그램의 성능평가

Lumen-Micro 프로그램의 성능을 평가하기 위해서 기존 계획된 사무소 건물을 분석하여 측창을 지닌 사무소 건물을 평가모델로 선정하였다. 평가결과는 다음과 같다.

1) 실험대상의 개요

선정된 평가대상은 폭 7.2m, 길이 12m 그리고 천정고 3m인 일반적인 사무소 건물로 남측면 전면에 광선반을 지닌 측창을 채광창으로 설치하였다. 실의 형상 및 크기는 (그림 6)과 같다.

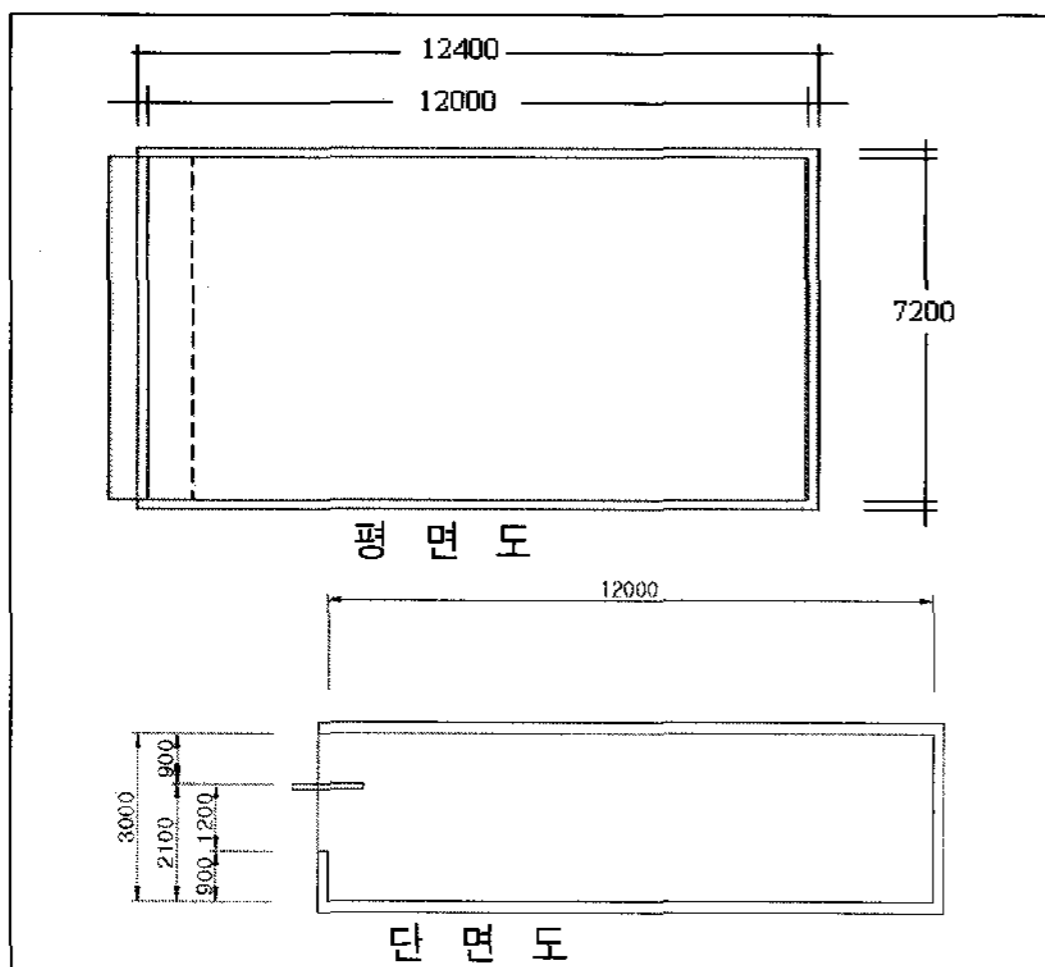


그림 6. 평가대상 사무실

사무소 공간의 실내 반사율은 천장 90%(백색 페인트 마감), 벽 77%(벽지 마감) 그리고 바닥 43%(카펫 마감)으로 선정하였고 실내 조

도측정 높이는 작업면 높이(바닥 위 85cm)로 설정하였다.

사무실의 남측면 창에 1.5m×7.0m의 광선반을 설치하였다. 광선반은 실내에 0.6m, 실외에 0.9m 돌출하며 바닥위 2.1에 설치하였다. 이때, 광선반의 반사율은 90%이다.

2) 시뮬레이션 및 축소모형 실험

시뮬레이션은 서울지역 기상조건을 이용하여 청천공 아래에서 춘분(3월 21일)을 기준으로 실시하였다. 채광성능은 실내 조도비(실외조도에 대한 실내조도의 비, %)에 의해 평가하였다.

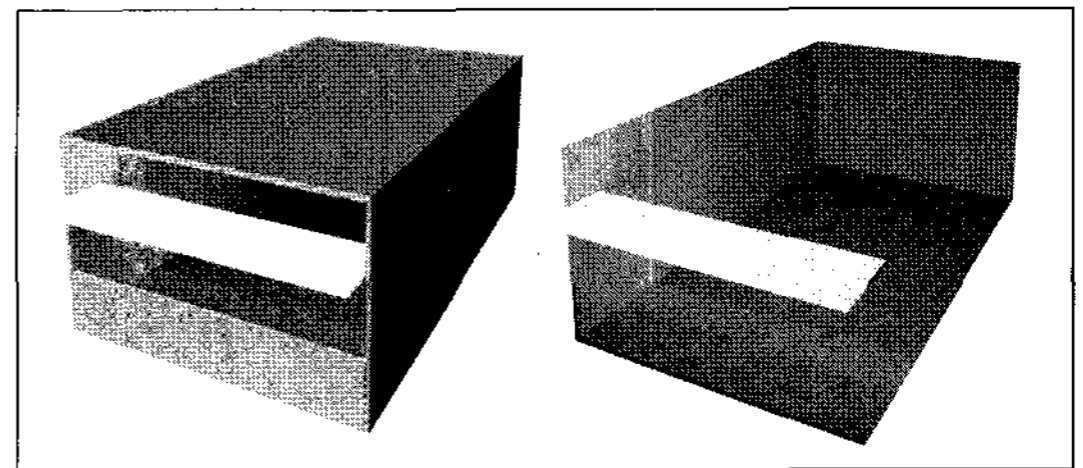


그림 7. 시뮬레이션 모델

축소모형 실험은 외부 방해물의 영향을 받지 않는 K대학 옥상에서 2002년 6월 13일부터 14일까지 시뮬레이션과 같은 조건으로 실시되었다. 모형은 1/6 스케일로 제작되었고 조도측정을 위해서 LI-COR사의 LI-210SA Photometric Sensor를 사용하였다.

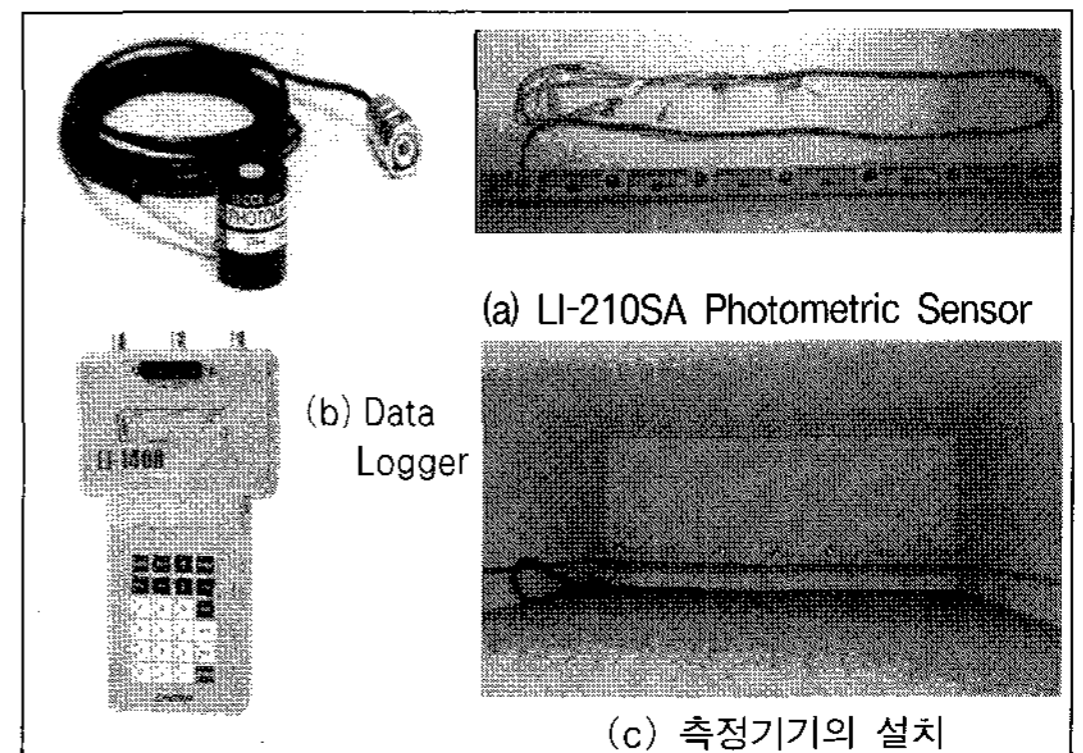


그림 8. 축소모형 측정기기

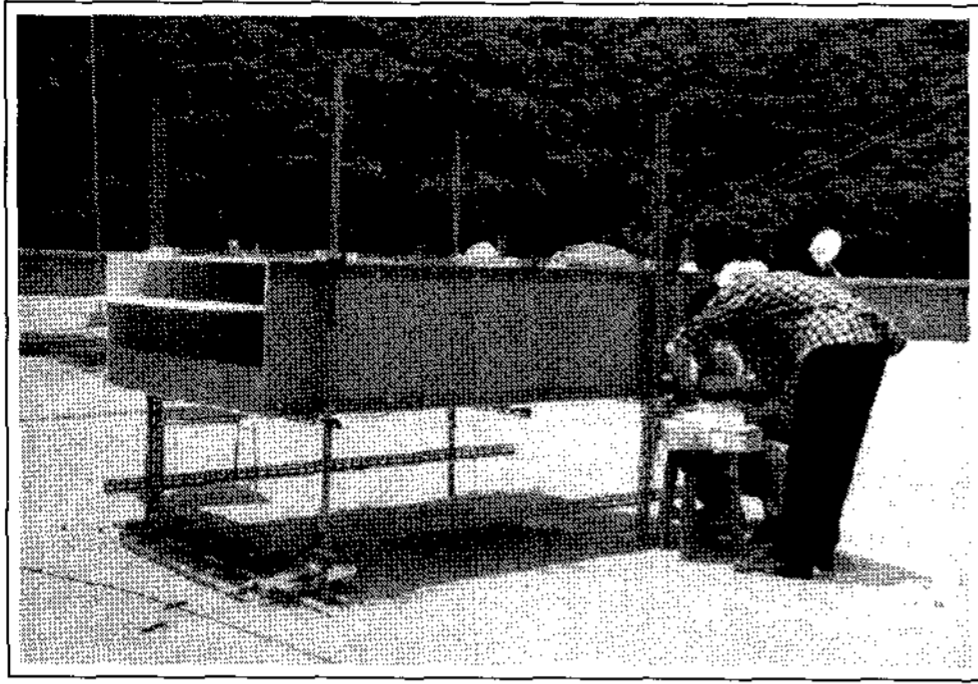


그림 9. 축소모형실험

3) 성능평가

Lumen-Micro 프로그램의 성능을 평가하기 위해 시뮬레이션 실험결과와 축소모형 실험결과를 비교하여 오차율을 분석하였다. 오차율은 축소모형 실험의 측정점에 따라 행별 평균 및 전체 평균을 분석하였다.

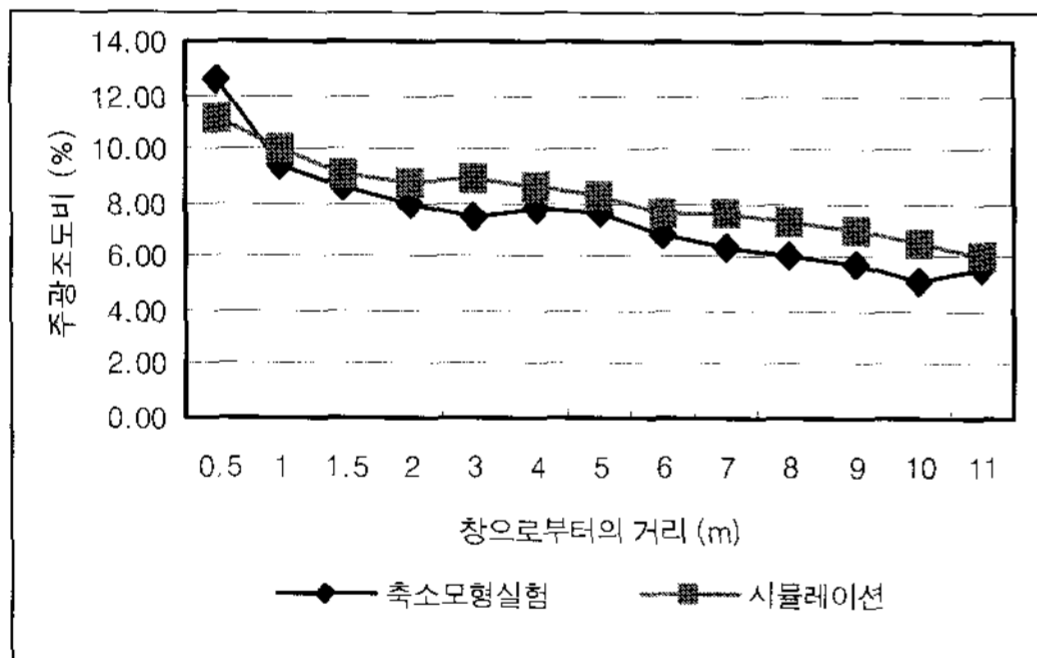


그림 10. 실험결과와의 비교

축소모형 실험결과와 비교분석한 결과 Lumen-Micro 프로그램을 이용한 채광성능 평가에 따른 오차는 평균 9.4%로 분석되었고 최소 4.1, 최대 14.5%로 나타났다.

3.2 Adeline 프로그램의 성능평가

ADELIN 프로그램의 성능평가하기 위해서 아트리움을 평가대상으로 선정하여, 같은 조건에서 컴퓨터 시뮬레이션과 축소모형 실험을 실시하였다. 평가결과는 다음과 같다.

1) 실험대상의 개요

성능평가를 위해서 루버가 부착된 천창형 아트리움을 평가모델로 선정하였다. 선정된 아트리움은 광정지수(바닥깊이에 대한 높이의 비)는 2.0으로 남북 방향으로 설치된 루버에 의해 자연광을 조절한다.

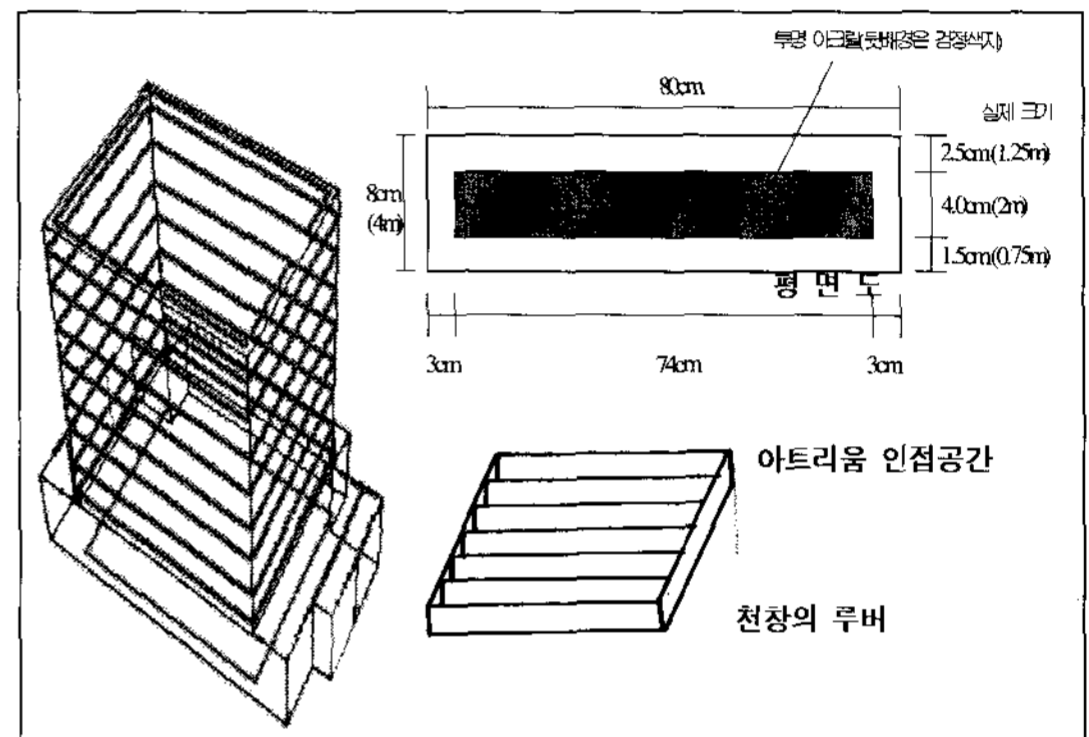


그림 11. 평가대상 아트리움

표 2. 아트리움의 개요

구분	내용	투과율/반사율)
아트리움 천장	유리 투과율	85%
	유리/창 면적비	90%
아트리움 면적	내벽 반사율	60%
	유리/창 면적비	46%
아트리움 바닥	유리 투과율	85%
	반사율	20%

2) 시뮬레이션 및 축소모형 실험

컴퓨터 시뮬레이션은 계절에 따라 오후 1시를 기준으로 청천공 상태에서 실시되었다. 이 때, 천창에 설치된 루버각도는 50° 그리고 반사율은 45%로 설정하였다.

축소모형 실험을 위한 아트리움 모형은 1/25 스케일로 제작하였다. 또한, 실내외 채광조도 측정을 위하여 Architectural Model Daylight Factor Meter 및 Topcon IM-5 조도계를 사용하였다.

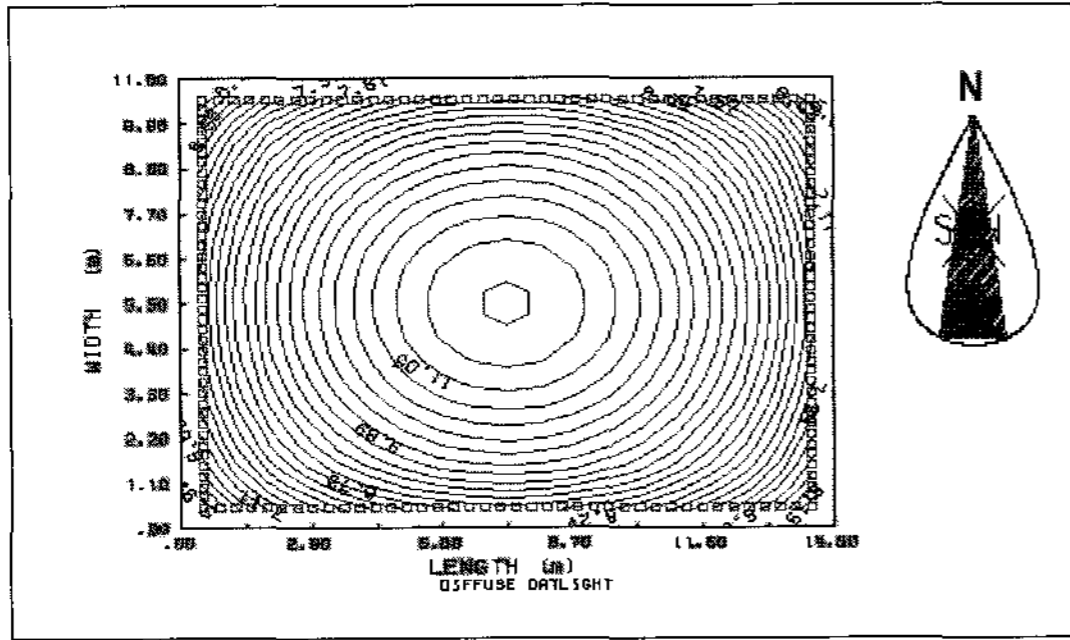


그림 12. 시뮬레이션 예

축소모형 실험은 청천공 아래에서 K대학교 옥상에서 실시되었다. 실험은 오후 1시를 기준으로 계절에 따라 태양 고도와 방위각을 변화시키며 2002년 5월 1일부터 8일까지 실시되었다.

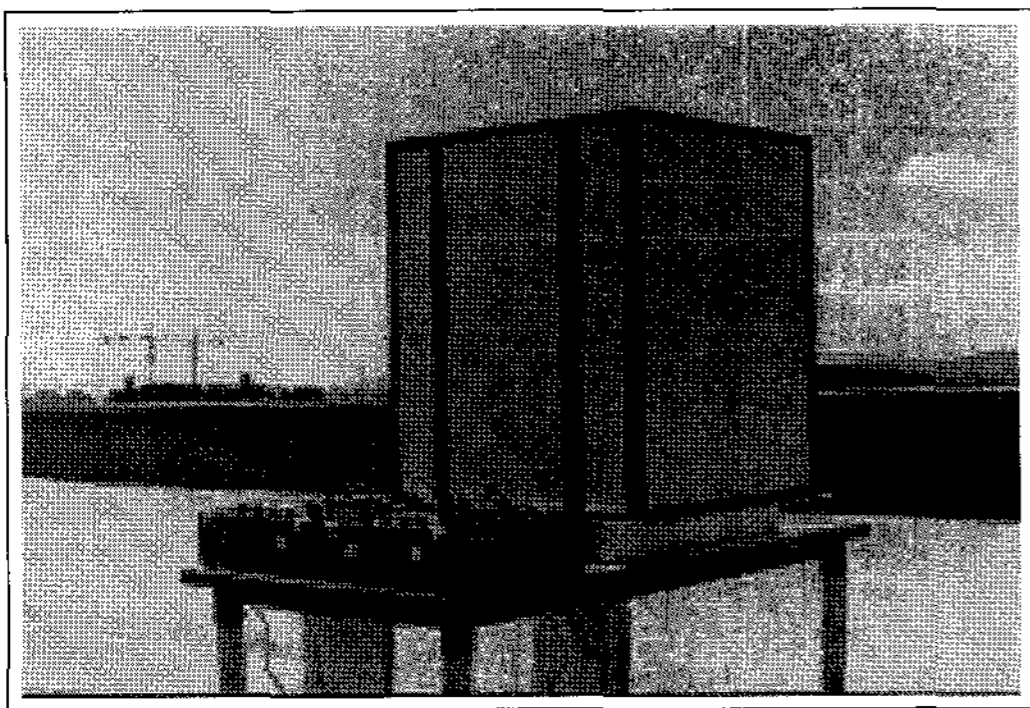


그림 13. 축소모형 실험

3) 성능평가

Adeline 프로그램의 성능평가를 위한 평가항목으로 실내 조도비를 사용하였다. 이 때, 시뮬레이션 및 축소모형 실험결과를 이용하여 최대, 최소 그리고 평균 조도비가 분석되었다.

(그림 14)와 같이 시뮬레이션과 축소모형 실험결과를 분석한 결과 실내 조도비의 차이는 최대 조도비 7.1%~8.5%, 최소 조도비 6.7%~8.3%, 그리고 평균 조도비는 7.8%~8.4%의 오차가 있는 것으로 분석되었다.

그러므로 ADELIN E 프로그램을 이용하여 채광성능을 예측한 결과는 평균 오차가 6.3%

로서 채광성능 평가도구로서 유용한 것으로 평가되었다.

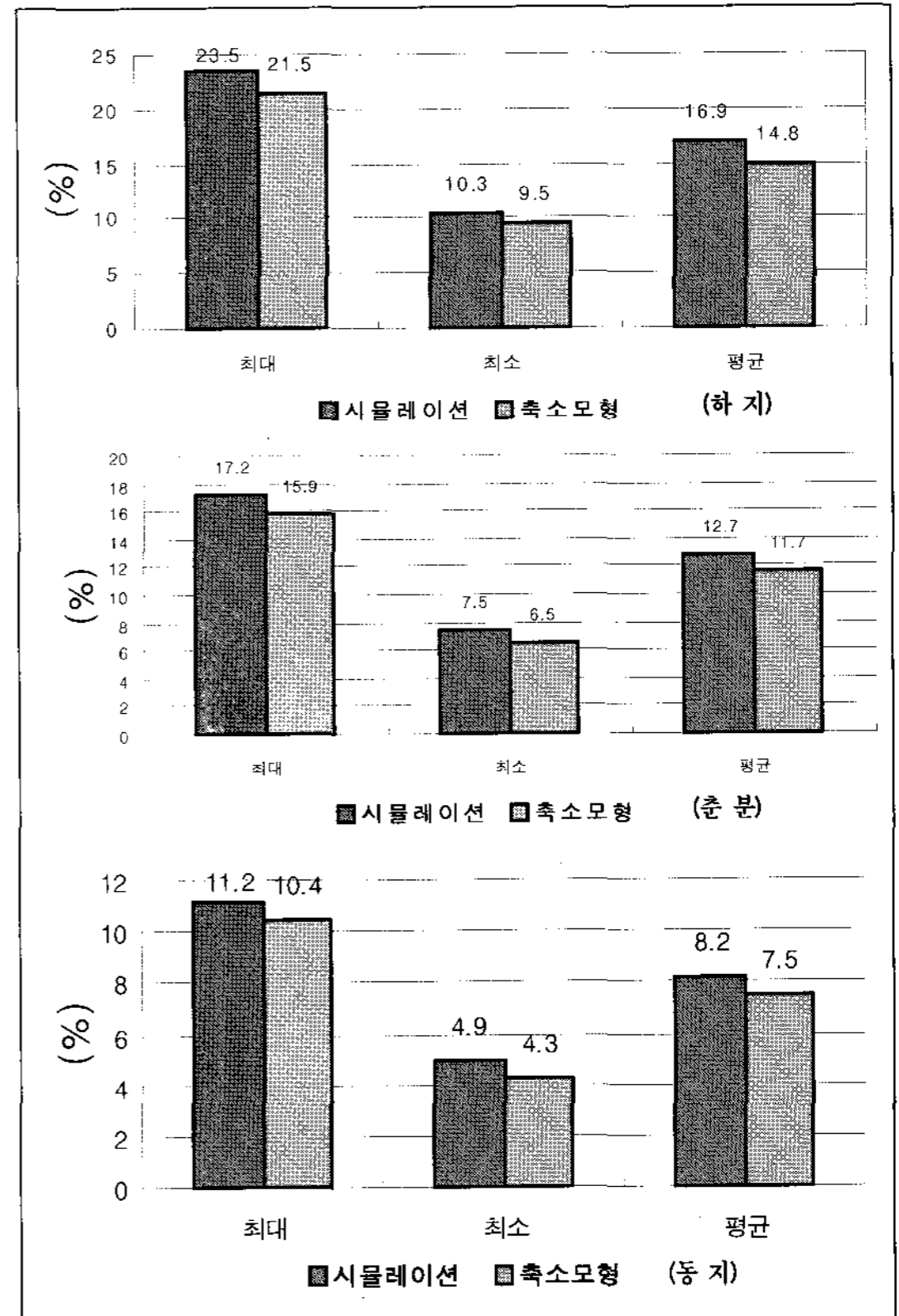


그림 14. 실험결과의 비교

3.3 Lightscape 프로그램의 성능평가

Lightscape 프로그램의 성능을 평가하기 위하여 Lumen-Micro 프로그램의 성능평가에서 설정된 측창이 설치된 사무소 공간을 대상으로 채광성능을 비교, 분석하였다.

1) 실험대상의 개요

선정된 사무실은 정남향의 측창을 지니며 실의 크기는 12m(폭)×7.2m(깊이)×3m(높이)으로 선정하였다. 측창은 바닥위 0.9m에 벽 전면 에 설치하였고 투과율은 90%이다. 광선반은 실내 측에 0.9m, 실외 측에 0.3m 돌출되며 바닥 위 2.1m 높이에 설치하였다.

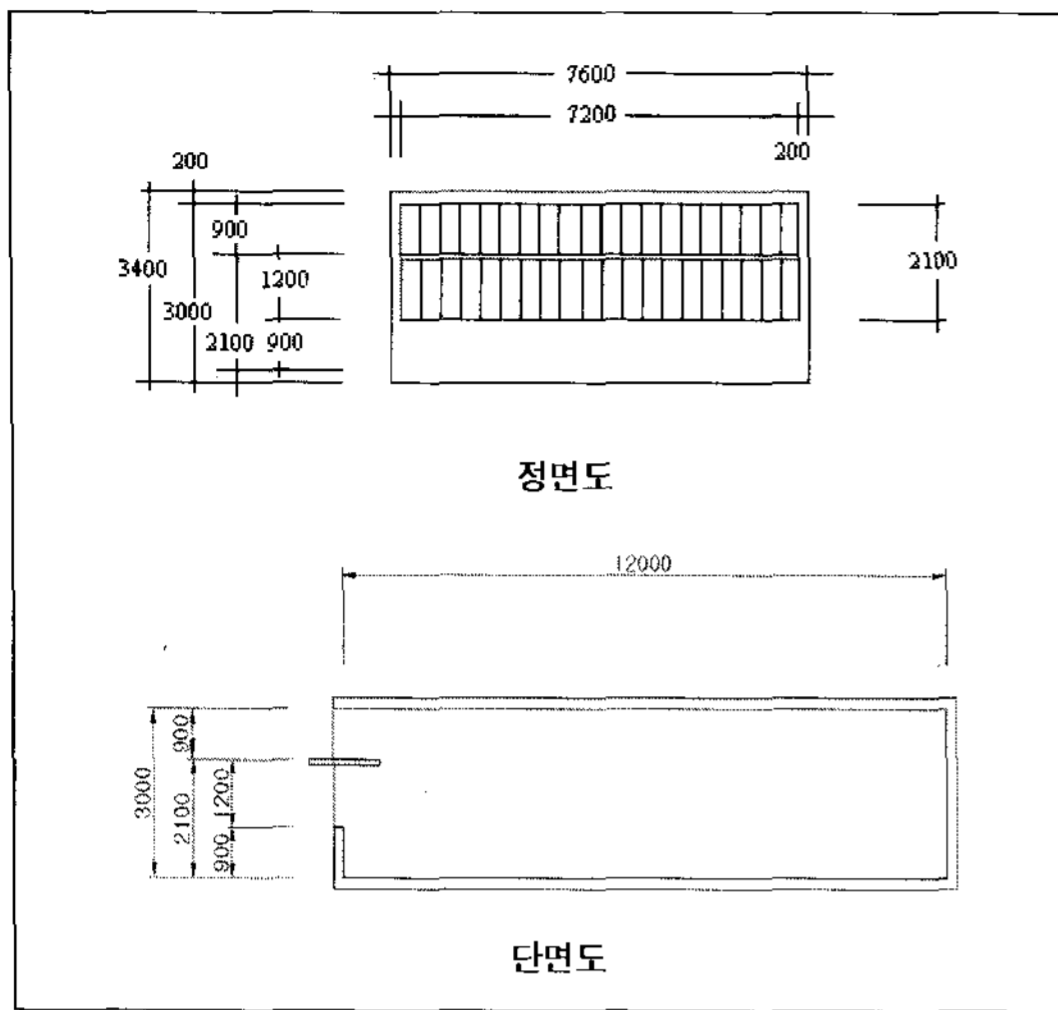


그림 15. 평가대상 사무실

2) 시뮬레이션 및 축소모형 실험

시뮬레이션 실험은 춘분 오전 12시를 기준으로 서울기상 자료를 이용하여 청천공 아래에서 실시되었다. 채광성능 평가는 작업면의 실내 조도비를 이용하여 평가하였다.

표 3. 실험공간의 개요

모델의 형상	실 너비 : 7.2m, 실 깊이 : 12m 천장 높이 : 3m, 창의 크기 : 2.1m×7.2m 광선반의 크기 : 실외 0.3m, 실내 0.9m
반사율	천장 : 95%(백색), 벽 : 77%(녹색벽지), 바닥 : 53%(청녹 카펫타일), 광선반 : 95%(백색)

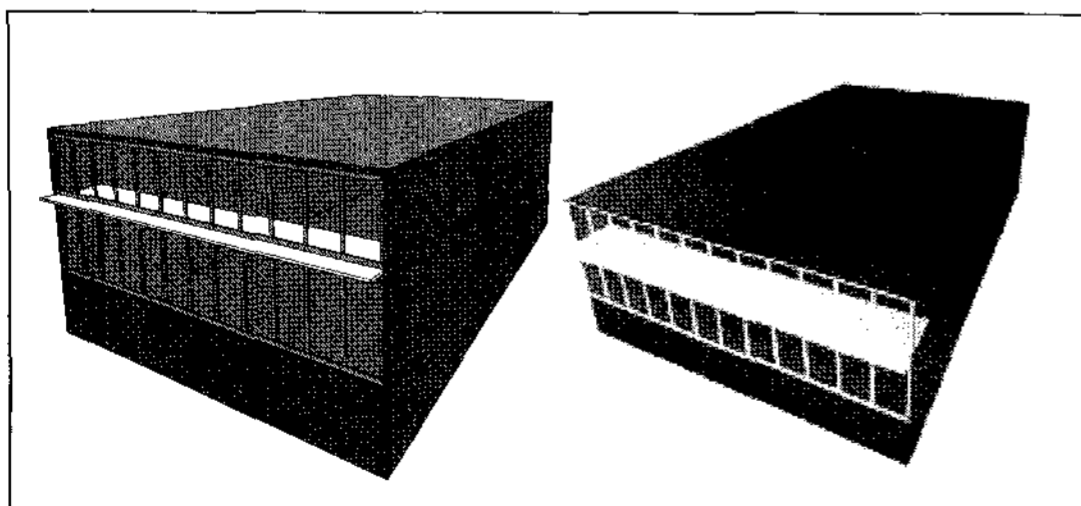


그림 16. 시뮬레이션 모델

축소모형은 앞에서 선정된 사무소 공간을 1/6 스케일로 제작하였다. 축소모형 실험은 K대학

옥상에서 2002년 6월 6일부터 14일까지 청천공 아래에서 실시되었으며 실내 조도비를 측정하였다.

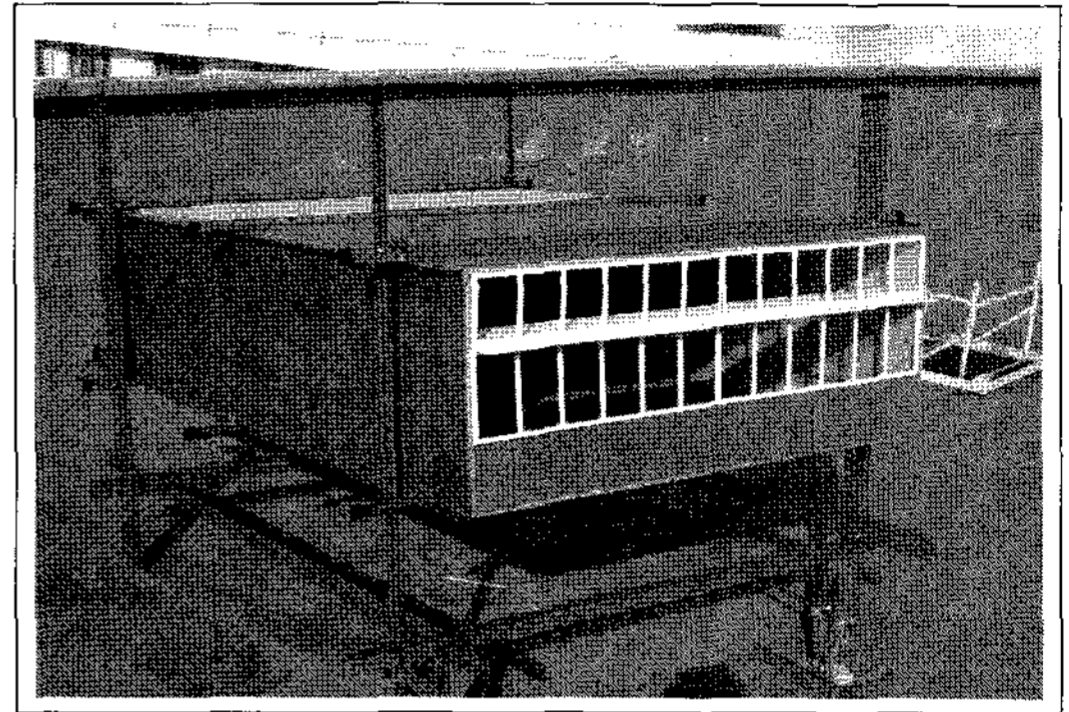


그림 17. 축소모형 실험

실내 측정점은 실 중앙을 중심으로 측벽으로 1m 간격으로 4열(중앙을 1열로 선정하고 측벽을 향하여 2열, 3열, 4열)을 선정하고 전면 창에서 안쪽으로 1m 간격으로 12행을 선정하여 모두 48개 지점에서 실시하였다.

3) 성능평가

Lightscape 프로그램의 성능을 평가하기 위해서 시뮬레이션과 축소모형 실험에 의한 실내 조도비를 분석한 결과는 (표 4)과 같다.

표 4. 실험결과의 비교

열/행	1열		2열		3열		4열		오차 (%)
	모형	시물	모형	시물	모형	시물	모형	시물	
1	7.3	7.0	8.3	8.2	8.3	8.8	8.3	7.6	5.1
2	6.7	6.6	7.9	7.9	8.1	8.1	8.1	8.3	1.1
3	6.2	6.2	7.4	7.3	7.7	7.5	7.7	9.0	1.6
4	4.3	4.7	5.2	5.6	5.4	5.8	5.4	5.9	8.0
5	2.7	3.0	3.2	3.6	3.3	3.7	3.3	3.8	9.8
6	1.9	2.0	2.2	2.3	2.3	2.4	2.3	2.4	4.7
7	1.4	1.4	1.6	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.9
8	1.0	1.0	1.2	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.5
9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.4
10	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1.2
11	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	1.2
12	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	1.2
평균									3.4

(시물 : 시뮬레이션 결과, 모형 : 축소모형 실험결과)

평가결과, 전체의 오차율은 평균 3.4%이며 최소 1.3% 및 최대 9.8%로 분석되었다. 그러므로 Lightscape 프로그램에 채광성능을 예측은 최대 오차가 9.8%로서 채광성능 평가도구로서 유용한 것으로 평가되었다.

4. 결론

국내에서 사용되고 있는 채광성능 평가용 시뮬레이션 프로그램으로 Lumen-Micro, Adeline 및 Lightscape를 선정하여 채광성능을 축소모형 실험값과 비교한 결과는 다음과 같다.

- ① Lumen-Micro는 사용이 간단하고 자연채광 및 인공조명 효과를 동시에 고려하여 시각적인 조명계획이 가능한 프로그램으로 오차는 최소 4.1, 최대 14.5%이며 평균 9.4%로 나타났다.
- ② Adeline은 DOS 운영방식으로 사용하기 다소 어려우나 복잡한 실 형태의 채광성능 평가 및 시각화가 가능한 것으로서 채광성능 오차는 최소 3.9%, 최대 8.6%이며 평균 6.3%로 나타났다.
- ③ Lightscape는 실내 조도, 휘도 및 3차원 이미지 분석이 가능하여 시각적인 채광분석 또한 가능한 프로그램으로 채광성능 오차는 최소 1.3%, 최대 9.8%이며 평균 3.4%인 것으로 나타났다.
- ④ 채광성능 평가용 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램은 축소모형 실험결과와 비교할 때 모든

프로그램의 오차가 평균 9.4% 이내에 위치하는 것으로 나타났다. 따라서 이러한 프로그램은 채광성능 평가도구로서 유용한 것으로 분석되었다.

후 기

이 논문은 과학기술부 국가지정연구실사업의 연구비지원에 의한 연구결과의 일부임 (과제번호 M1-0104-00-0272).

참고문헌

1. 김강수, "빛환경 계획과 설계를 위한 컴퓨터 프로그램의 개발현황", 건축, v.39 n.6, 1995. 6.
2. 김정태·이영욱, "컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 아트리움의 자연채광 성능평가에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 15권 4호 통권 113호, 1998.
3. 김정태·정유근·정인영·황민구, "자연채광 성능 평가에 있어서 축소모형실험 방법론의 유용성 검증에 관한 연구", 한국태양에너지학회논문집, v. 22, n. 2, 2002. 8.
4. 이주윤·송규동, "라디언스 시뮬레이션에 의한 인공천공의 휘도분포 조정 연구", 대한건축학회춘계학술 발표논문집, v.21 n.1, 2001.
5. Adeline 2.0 User's Manual, Lawrence Berkely Lab., 2001. 5.
6. Lumen-Micro User's Guide, Lighting Technology, 1999. 1.
7. Lightscape User's Guide V 3.2 and Library Lesson, Autodesk, 1999.