

[논문] 한국태양에너지학회 논문집  
Journal of the Korean Solar Energy Society  
Vol. 23, No. 3, 2003

# Lightscape를 이용한 광선반의 시뮬레이션 평가 연구

조일식\*, 김기세\*, 윤종호\*\*, 이진숙\*\*\*

\* 한국에너지기술연구원(yscho@kier.re.kr), \*\* 한밭대학교 건축공학  
\*\*\*충남대학교 건축공학과

## A Study on the Computer Simulation Estimate of Light Shelf Using Lightscape

Cho, Yil-Sik\*, Kim, Ki-Se\*, Yoon, Jong-Ho\*\*, Lee, Jin-Sook\*\*\*

\* Korea Institute of Energy Research, \*\* Dep. of Architectural Engineering, Hanbat National University  
\*\*\* Dep. of Architectural Engineering, Chungnam National University

### Abstract

One of the promising optical daylighting systems is light shelf type daylighting system. Two types of lighting performance analysis methods are 1) Ray-Tracing method and 2) Radiosity method. The purpose of this paper is to compare two methods in terms of advantages and disadvantages by further looking at the detail algorithm. Also, model verification with Lightscape simulations has been conducted. Effectiveness of light penetration factor in terms of daylighting factor has been investigated and quantified. In summer time, the performance of the light shelf was twice better than the case without it.

**Keywords** : 자연채광(Daylighting), 현휘(Glare), 광선반(Light shelf), 광선추적방식(Ray tracing method), 복사열해석방식(Radiosity method), 주광율(Daylight factor)

### 1. 서 론

자연채광은 건축 설계기법 또는 기계적 장치를 통해 외부 자연광을 최대한 실내로 유입하는 기술이다. 외부의 주광 형태는 직사광과 산란광 및 이들의 혼합형태로 존재하며, 직사광의 경우

조도수준은 매우 높지만 실내로 직접 유입될 경우 현휘 등의 문제로 인해 실내 시환경을 저해시키기 때문에 직사광의 직접적 유입은 피해야 한다. 따라서 자연채광의 기본방향은 산란광의 경우 최대한 실내 유입을 유도하며, 직사일광의 경우 산란시켜 유입시킬 수 있는 방법을 도모해

야 한다.

이러한 기본 원칙하에 외부 자연광을 실내로 유입할 수 있는 다양한 기술이 개발었는데, 이 중에서 광선반(Light shelf) 시스템은 초기 투자비가 매우 저렴하고, 직사일광을 천장에 반사시켜 확산광 형태로 실내 깊숙한 곳까지 주광을 유입시킬 수 있기 때문에 현재 상업용 건물에 적용 잠재성이 가장 큰 기술로 인식되고 있다.

따라서 본 논문에서는 주광 성능평가용 컴퓨터 정밀 시뮬레이션 해석 방법으로 광선 추적방식(Ray Tracing)과 열복사해석방식(Radiosity)에 대한 알고리즘을 상세히 분석하고, 직사광 및 확산광의 효과를 종합적으로 평가할 수 있는 주광해석 시뮬레이션 도구인 Lightscape 프로그램을 이용하여 하절기의 직사일광 실내유입 차단 및 효과적인 실내 조도유지를 위한 방법론의 차양장치 및 광선반 시스템에 대한 정량적인 비교 분석을 주요 목적으로 하였다.

## 2. 주광해석 평가도구 알고리즘 분석

현재까지 개발된 대부분의 자연채광 해석방법 및 알고리즘은 약산방식에서 매우 복잡한 정밀방식까지 응용범위에 따라 각기 장단점 및 독창성을 가지고 있다. 이 중에서 외부주광의 가용성 및 주광율법(Daylight factor method)은 기존에 자연채광 해석에 활발히 사용되던 방식이며, 좀더 개선된 계산방식인 열복사해석법과 광추적방식은 계산량의 방대함과 사용상의 어려움으로 자연채광 해석용으로 활발히 적용되지 못했던 분야이다. 그러나 최근 컴퓨터 사양의 급속한 발전 및 소프트웨어 기술의 발달로 인해 보다 정밀한 형태의 해석방법에 대한 관심이 고조되고 있으며, 특히 경면반사가 포함되는 설비형 자연채광 시스템의 해석을 위해서는 열복사해석법 및 광선추적법 방식의 활용이 필수적이라 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 고전적 자연채광 해석방법에

대한 기술은 생략하고 정밀해석 기술을 비교 분석하였다.

### 2.1 광선 추적방식(Ray-Tracing방식)

실내 전체 조도수준을 예측하기 위해 최초로 개발된 알고리즘 중 하나가 Ray Tracing 방식이다. 이 방법의 특징은 실제로 실내에 수십억 개의 광자가 존재할지라도 해석에 고려되는 광자는 순수히 재실자의 눈에 도달하는 광자만으로 제한하며 알고리즘은 스크린의 각 픽셀에서 3차원 공간방향 즉, 역방향으로 광선을 추적한다. 따라서 스크린 부분에 해당하는 이미지 재생을 위해 필요한 정보만 계산하면 되는 것이다.

광선 추적법을 통해 스크린상의 각 픽셀에 이미지를 재생하는 과정은 다음과 같다.

1. 시점(눈) 위치에서 모니터의 픽셀을 통해 임의표면과 교차하는 점까지 역방향으로 광선을 추적한다.
2. 해석 모델에는 각 표면에 도달하는 광량 대신 반사율을 정의한다. 총 조도수준을 결정하기 위해 교차점으로부터 공간내의 각 광원까지 광선을 추적한다. 이때 광원까지의 광선이 다른 물체에 의해 가려지는 것이 없다면 광원으로부터의 광량 기여분을 표면색을 결정하는 데 사용한다.
3. 교차표면이 광택면이나 투명한 경우 알고리즘은 고려중인 표면을 통해서 또는 안쪽 면에서 보여지는 것을 결정해야 한다. 다른 표면과 교차할 때까지 반사된 방향, 투명체의 경우는 투과된 방향으로 1, 2의 계산과정을 반복한다. 이어지는 교차점의 색이 계산되고 이 값이 원래의 점에 반영된다.
4. 두 번째 교차표면도 반사 또는 투명 표면인 경우 Ray tracing 과정은 미리 설정된 반복계산 한계치까지(또는 다른 교차표면이 없을 때까지) 다시 반복된다.

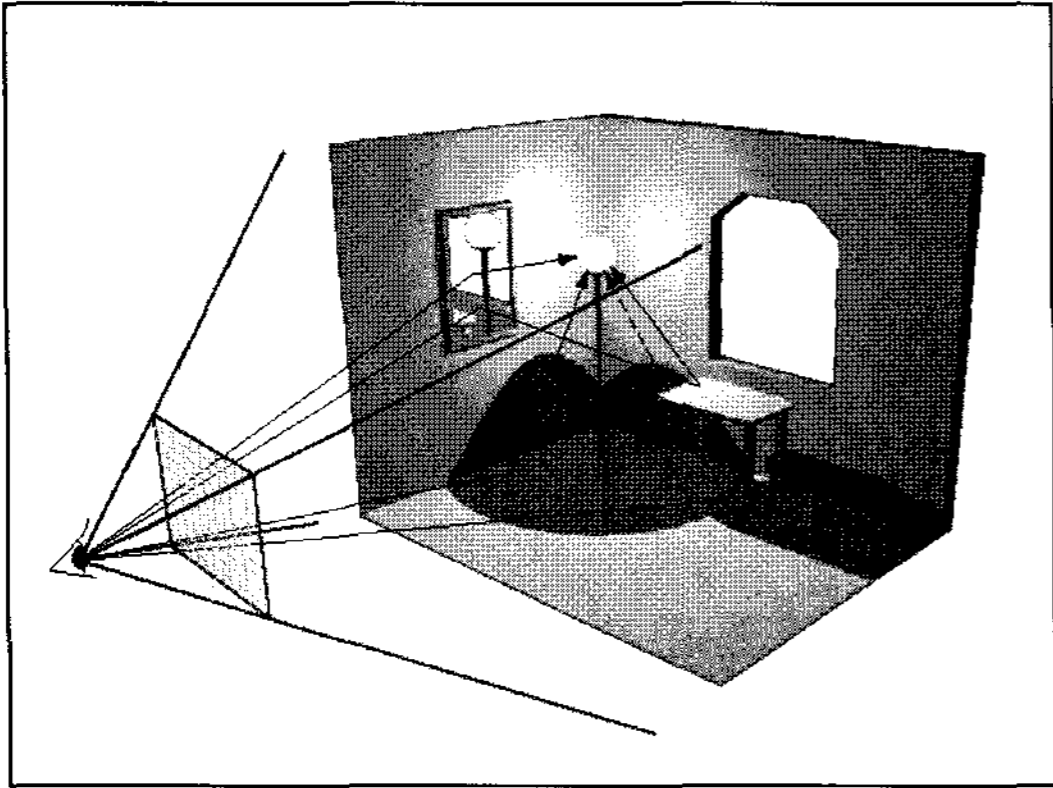


그림 1. Ray-Tracing 방식의 개념도

Ray tracing 방식은 다양한 범위의 조명효과를 모사할 수 있기 때문에 다목적인 알고리즘이다. 직사광이나 음영, 거울과 같은 경면반사, 투명재료를 통한 굴절 등에 대해 전체 조도 특성을 정확하게 계산할 수 있다. 그러나 Ray tracing 방식의 주요 단점은 방대한 계산량이 요구되기 때문에 일반적인 수준의 기하학적 형상에도 계산비용이 많이 소비된다는 점이다. 또 다른 단점으로는 전체 조도요인 중 매우 중요한 요소의 하나인 확산광의 반사효과를 고려할 수 없다는 점이다.

Ray tracing 기법에서는 이러한 간접광을 주변광(ambient light)으로 표현한다. 즉 실제적인 간접광의 물리적 상관관계를 무시하고 전 공간에 대해 균일한 상수값으로 특정값을 단순히 더해줌으로서 이 효과를 보상한다. 이 때문에 Ray tracing을 통해 생성된 이미지는 입체적이지 못하고 평면적으로 보이는 경향이 있다. 특히 건축 공간과 같이 대부분이 확산표면으로 구성되는 경우는 이러한 현상이 더욱 뚜렷해진다.

## 2.2 복사열해석 방식(Radiosity 방식)

모니터 스크린상의 각 픽셀 색을 결정하는 광선추적법과는 달리 그림 2와 같은 Radiosity 방식에서는 공간내 각 점의 강도(Intensity)를

계산한다. 이를 위해 Radiosity 방식에서는 공간내 각 표면을 보다 작은 그물형태의 미소표면(Element)으로 분할한다. 분할 후 각 미소표면에서 다른 모든 미소표면으로의 광량을 계산하고 최종적으로 각 미소표면의 Radiosity값을 저장하는 것이다.

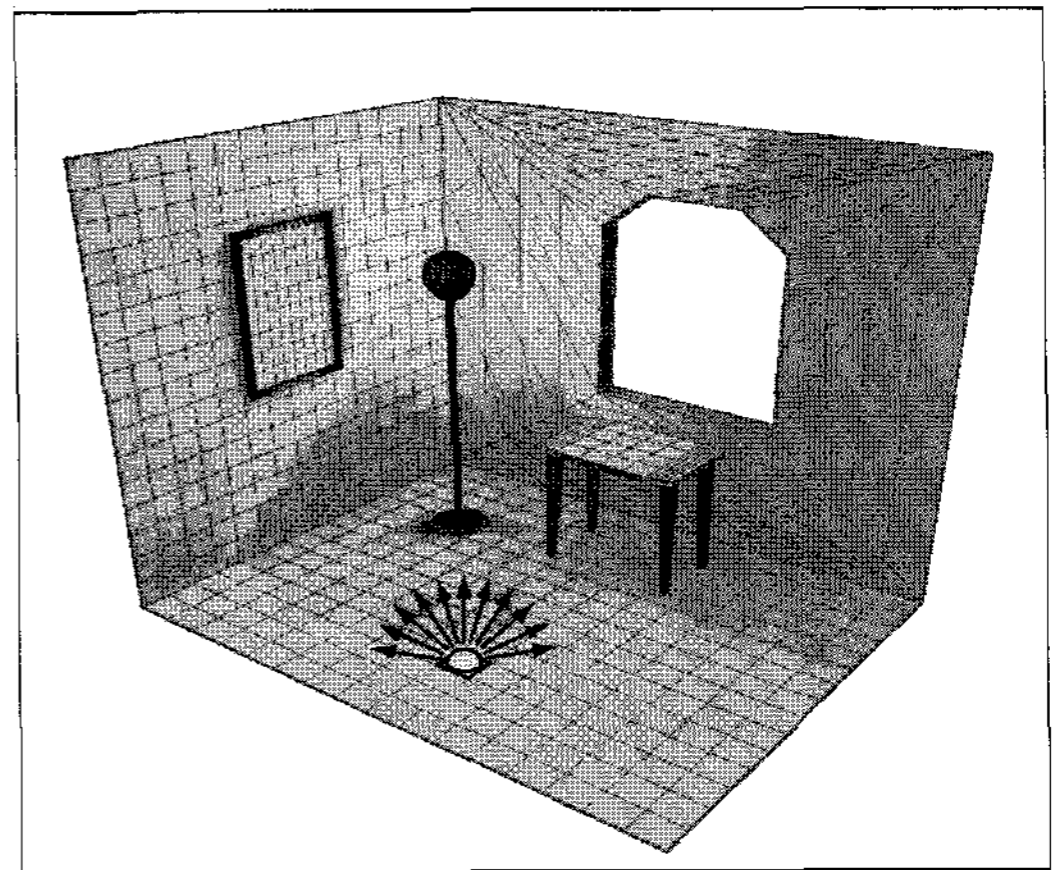


그림 2. Radiosity 방식의 개념도

일단 공간내 빛의 분포가 계산되면 관측점을 변화시켜도 신속히 스크린상에 조도분포를 출력할 수가 있다. Ray tracing 알고리즘은 시점 의존적인(view-dependent) 방식이라 관측점을 변화시킬 때마다 계산을 다시 수행되어야 하는 반면, Radiosity 알고리즘은 공간 전체에 대한 조도분포를 미리 계산하기 때문에 관측점 변화에도 재계산이 필요 없는 시점 독립적(View-independent)인 방식이다.

기존의 Radiosity 알고리즘은 일단 모든 미세 표면간의 조도분포 완전히 계산되어야만 실내의 조도분포 이미지를 보여줄 수 있었다. 하지만 1988년 제안된 알고리즘의 개선을 통해 미세표면의 조도분포 계산과정 중에도 이미지를 보여줄 수 있어 정밀도 및 시각적인 질의 개선 과정을 확인할 수 있게 되었다. Radiosity 알고리즘을 통한 조도계산 과정은 다음과 같다.

1. 각 표면을 일단 비교적 큰 그물형태의 미세표면으로 분할한다. 분할된 임의의 초기 미세표면이 인접 미세표면과 빛의 강도차가 클 경우 자동으로 좀더 작은 면적으로 세분될 수 있다.
2. 각 광원으로부터 공간내 모든 표면에 빛을 분포시킨다. 여기서 광원은 한 개 내지 다수의 램프와 반사갓을 포함한 조명장치이다. 이 계산과정에서 임의의 표면은 다른 표면을 가릴 수 있으며 이 경우 그림자가 투사되게 된다.
3. 표면재료의 특성에 따라 특정 미세표면에 도달하는 에너지의 일부는 흡수되고 나머지는 주변으로 반사된다. Radiosity 방식에서는 모든 표면을 이상적인 확산반사 표면, 즉 Lambertian으로 가정한다. 따라서 표면반사는 모든 방향으로 균일하게 반사된다고 가정한다.
4. 일단 광원으로부터 직접 도달하는 에너지를 분포시킨 후, Radiosity 알고리즘에서는 모든 표면을 검사하여 어느 표면이 가장 많은 빛을 반사시키는가를 결정한다. 가장 많은 빛을 반사시키는 미세표면이 결정되면, 이 표면을 주변의 모든 표면으로 반사 에너지를 방출하는 면광원(Area light source)으로 간주한다.
5. 이러한 과정은 공간내에서 대부분의 에너지가 흡수될 때까지 또는 설정된 수렴 한계치까지 반복 계산된다.

광원이나 표면으로부터 빛을 각각 분배시키는 과정을 Iteration으로 부른다. 수렴상태에 도달하기 위해 요구되는 Iteration 수는 공간형상의 복잡성에 따라 변화된다. Iteration은 가장 큰 에너지를 방출하는 미세표면을 우선적으로 선별하여 계산함으로써 radiosity 해의 수렴속도는 계산 초기에 훨씬 빨리 접근된다. 계산의 끝으로 갈수록 분배되어질 잔여 에너지량은 작아

지게 되며 각 Iteration마다 이미지 질의 개선정도도 식별하기 어려워진다. 따라서 최종적인 수렴결과를 얻기 위해서는 방대한 양의 계산이 필요할 지라도, 상기와 같은 알고리즘을 통해 계산초기에도 상당수준의 정밀도를 가진 계산값을 얻을 수 있는 것이다.

### 2.3 정밀 해석방식의 분석

Radiosity 방식이나 Ray tracing 방식 모두 전체 조도효과를 완벽하게 모사할 수 있는 완성된 해결책은 제시하지 못하고 있다. Radiosity 방식이 확산 대 확산 상호복사의 해석이 있어 우세한 반면 경면반사의 해석에는 Ray tracing이 우세하다.

최근에 제시된 일부 소프트웨어에서는 두개 기술을 병합하여 최선의 해결안을 찾도록 제공하고 있다. 여기서는 우선 Radiosity 방식으로 특정 시점으로 관측점을 고정하여 우선 계산한 후, 2단계로 Ray Tracing 방식에 의한 경면 반사 및 투명효과를 추가로 계산하여 1단계 결과에 합치는 방식을 택하고 있다. 이 경우 Radiosity에 의한 계산결과는 기존의 Ray Tracing 방법에서 확산반사를 고려하기 위해 상수의 주변광(ambient light)을 적용하던 것을 대체함으로써 간접광에 대한 정밀도를 크게 높일 수 있으며, 결과물도 매우 사실적인 이미지에 근접하게 된다. 또한 부가적으로 Radiosity 방식에서도 직접광에 대한 해석이 가능하기 때문에 2차적으로 수행되는 ray tracing 계산단계에서 별도로 음영해석을 수행할 필요가 없으며 단지 반사와 투과광에 대해서만 계산을 수행하면 된다.

따라서 Radiosity 및 Ray Tracing 기법을 혼합 적용할 수 있는 알고리즘을 이용해 자연채광 시스템의 이론적 시뮬레이션 성능예측을 수행하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

### 3. 주광성능 평가 모델링

본 논문은 우선 광선반 시스템을 대상으로 직사일광 효과가 고려된 실내 조도예측의 타당성을 검증하였다. 즉, 해석평가도구의 경면반사 (specular reflection) 특성과 외부 주광 유입에 따른 정확한 실내 조도예측 가능성을 평가하는 것이다. 따라서 해석대상 모델은 서울지역 정남향 사무소 단위공간을 대상으로 1/2로 축소 가정하여 형태를 가능한 단순화 시켰으며, 주광 유입은 남측에 설치된 전면창을 통해서만 유입되는 것으로 가정하였다. 해석조건 및 해석대상 모델의 구체적 형상 및 조건은 그림 3과 같다.

또한 다양한 조건에 대한 분석을 수행하기 위해 천공상태를 청천공과 담천공, 그리고 하절기의 경우 일사차단 및 차양효과를 위해 일반적으로 적용하는 블라인드 적용조건, 광선반 적용조건 등 아래의 5가지 사례로 구성하였으며, 평가 도구로는 Ray Tracing 및 Radiosity 방식을 차례로 계산하여 분석하는 Lightscape v3.2를 활용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

[해석대상조건]

- 위치 : 서울 ( 위도 37°, 경도 127°)
- 일시 : 6월 21일 12시

[해석모델]

- 크기 : 폭 2.2m, 깊이 3.5m, 높이 : 1.5m
- 창 : 2.2m\*1.5m (창틀두께 및 폭은 5cm이며 창 규격은 창틀을 포함한 치수임)
- 창투과율 : 광선반 설치시 0.9, 광선반 제거시 0.25
- 광선반 : 50cm (창외부 돌출길이 30cm, 창틀 5cm, 창내부 돌출길이 15cm)
- 광선반 반사율 : 0.95
- 내부표면 반사율 조건 : 바닥 0.6, 수직벽 0.5, 천정 0.7, 창틀 0.55

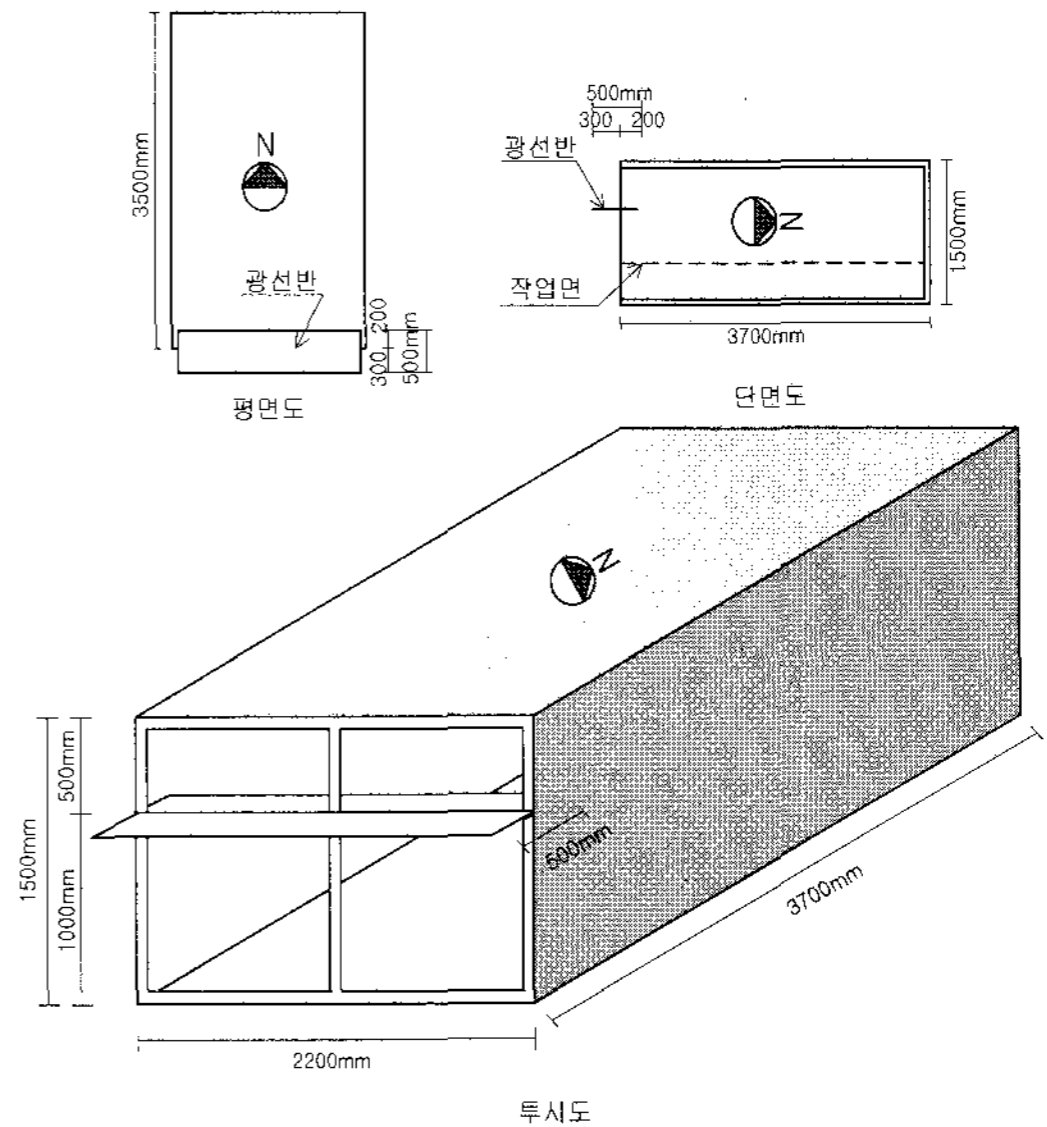


그림 3. 광선반에 의한 실내조도 영향평가 모델링

- [사례 1] 청천공 상태로 창호의 투과율이 90%인 사례
- [사례 2] 청천공 상태로 직사광 차단을 위해 블라인드를 내린 사례 (창호 투과율 25%)
- [사례 3] 담천공 상태로 창호의 투과율이 90%인 사례
- [사례 4] 청천공 상태로 창호의 투과율이 90%이고 광선반 반사율이 90%인 사례
- [사례 5] 담천공 상태로 창호의 투과율이 90%이고 광선반 반사율이 90%인 사례

### 4. 성능평가 분석

각 사례의 해석은 하지(6월 21일) 정오를 기준으로 하였으며, 실내 조도분포 분석 및 시뮬레이션을 위해 서울지역의 태양방위각과 고도각을 계산하여 실내 조도분포를 분석하였다. 실제 공간에서 주요한 조도수준의 평가는 작업면을 기준으로 평가하는 것이 가장 정확한 분석이므로, 본 논문에서는 스케일 다운된 규모임을 감



안하여 바닥면을 기준으로 분석하였다.

청천공상태를 고려한 사례1의 경우는 창호를 통한 직달일사가 실내로 유입되어 천장면과 바닥면 모두 창호에 가까이 위치한 부분과 실내 안쪽과의 조도차이가 심하게 나타나게 되어 현휘현상이 심각하게 발생하는 것으로 분석되었다. 이러한 현휘현상의 최소화를 위해 블라인드 적용을 고려한 사례2의 경우 실내 조도는 사례 1과 비교하여 각 면에서 약 30%정도 수준의 조도수준을 나타내는 것으로 분석되어 일사 차양장치가 실내조도 영역에는 상당히 불리하게 작용하는 것으로 나타났다.

사례 4의 경우 광선반의 외부영역 조절로서 실내로 유입되는 직달일사를 효과적으로 차단하여 하절기 일사 차양장치의 역할을 충분히 수행하는 것으로 분석되었으며, 반면 광선반에 비추지는 직달일사가 광선반이 가지는 반사효과에 의해 실내의 천장면으로 유입되어 확산되어 실내로 유입되는 것으로 나타났다. 또한 광선반에 의해 유입된 주광이 천정면을 통해 확산되어 실내 안쪽 깊은 부분 적절한 조도를 유입시킬 수 있는 것으로 분석 되었다. 즉, 이는 실내조도해석을 위해 활용한 프로그램이 광선반이 가지는 경면반사 현상을 정확히 모델하여 시뮬레이션하는 것으로 확인되어 실내조도 해석에 신뢰성을 인정할 수 있는 것으로 분석되었다.

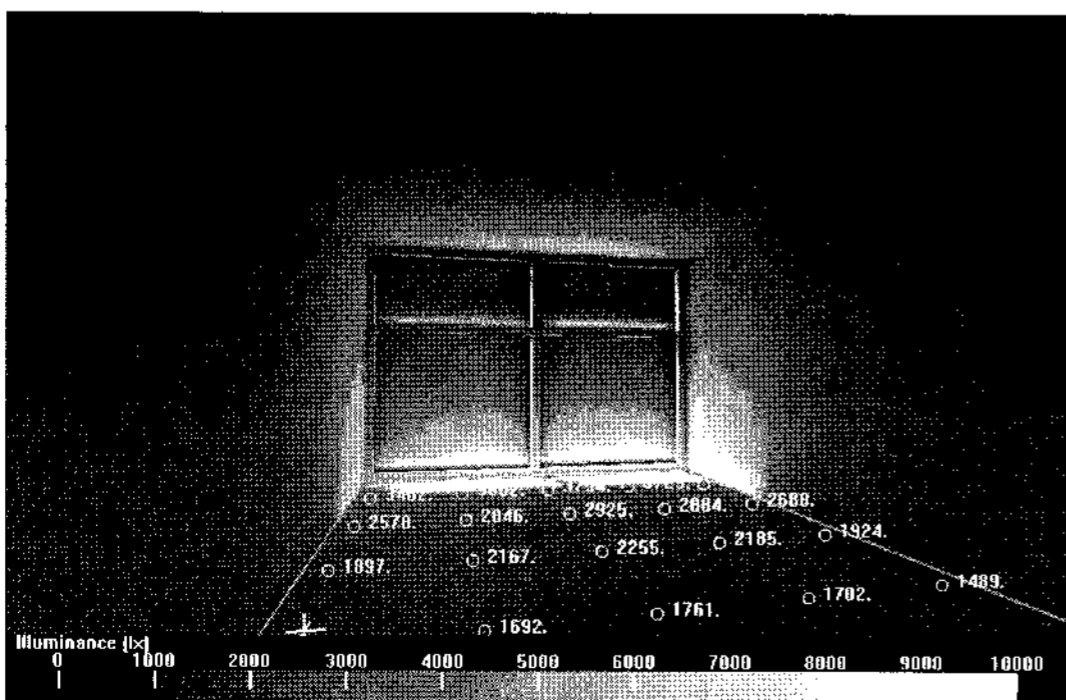


그림 4. 사례1의 바닥면 조도분포

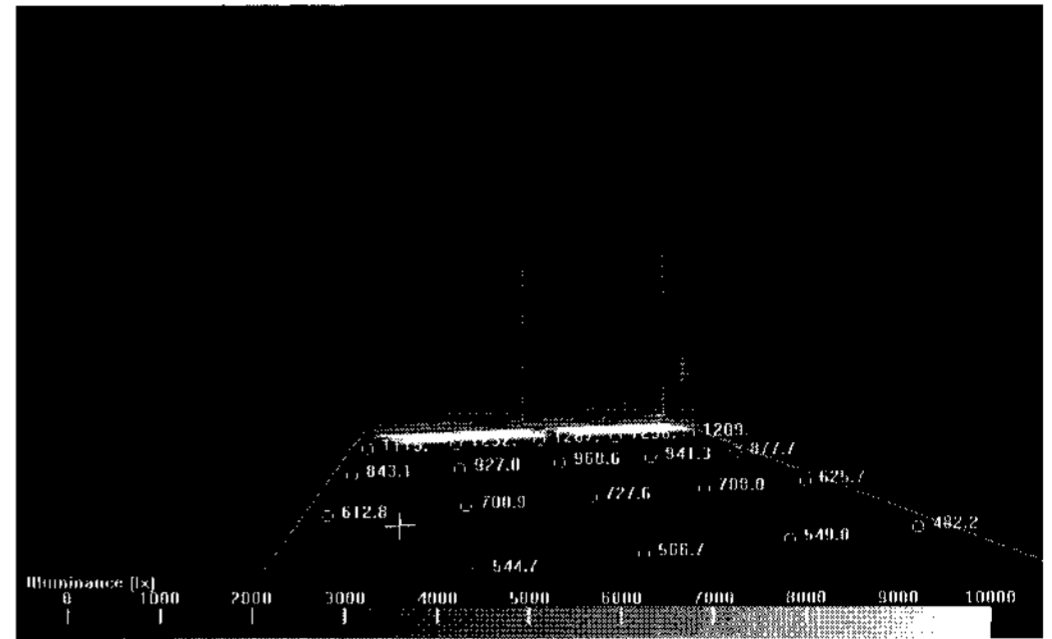


그림 5. 사례2의 바닥면조도분포

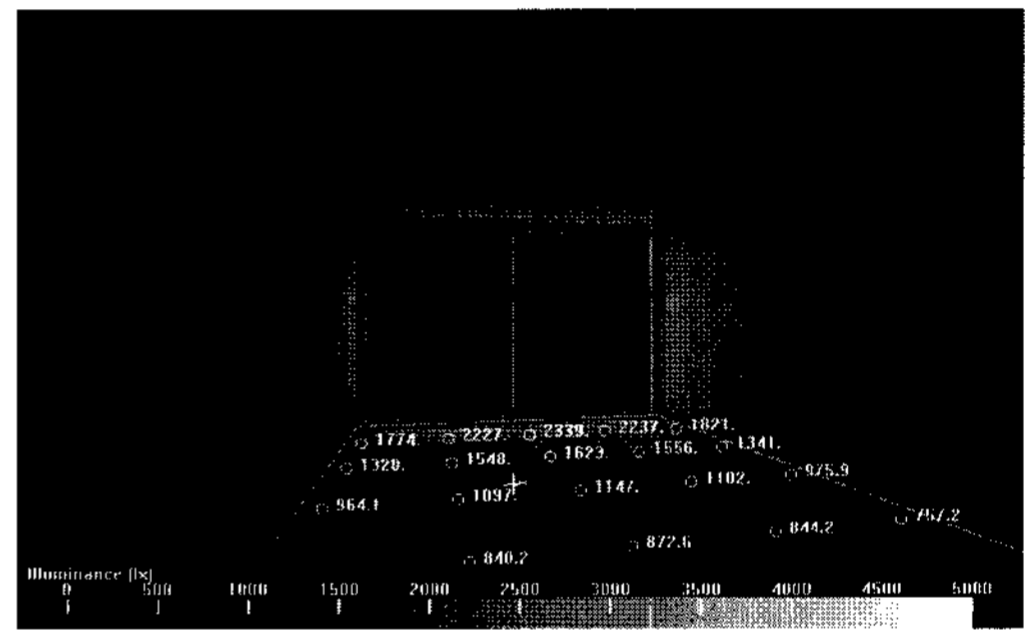


그림 6. 사례3의 바닥면 조도분포

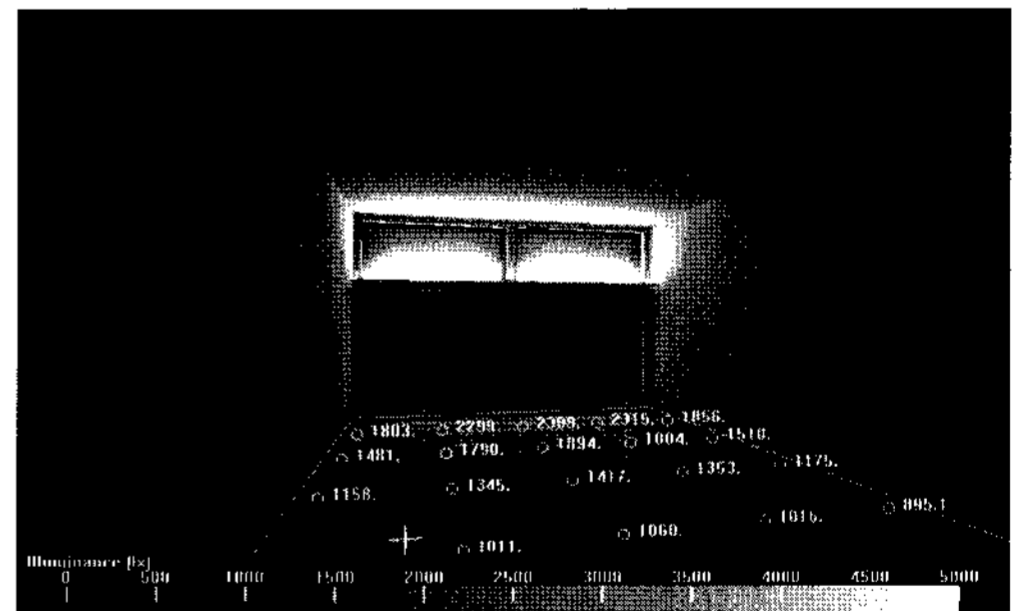


그림 7. 사례4의 바닥면 조도분포

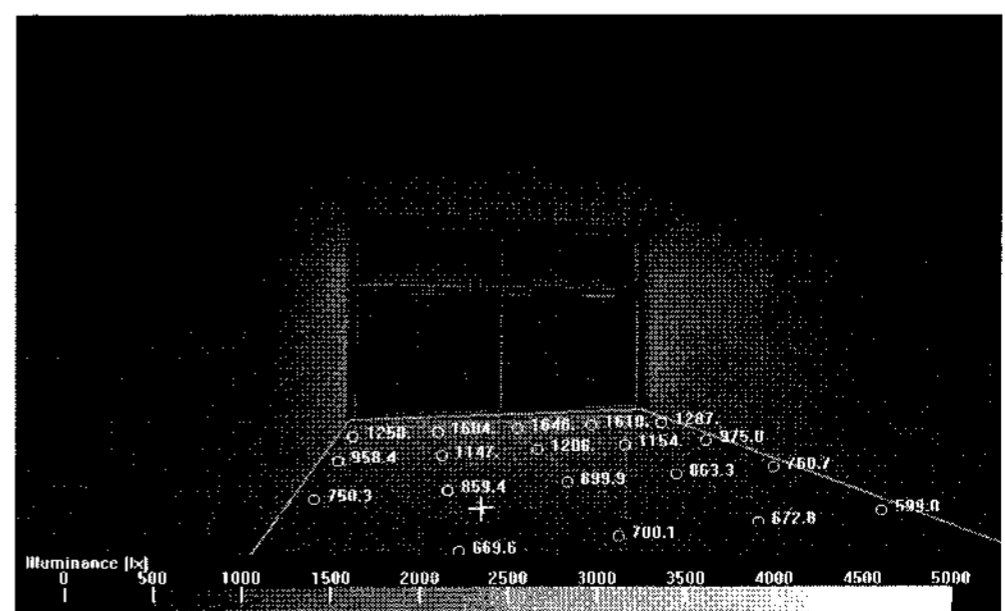


그림 8. 사례5의 바닥면 조도분포

표 1. 각 사례별 조도분포

		평균조도 (lx)	최대조도 (lx)	최소조도 (lx)	평균 주광율
사례1	천정면	2990	7262	0	2.42
	바닥면	7724	73102	0	9.46
사례2	천정면	922.2	2200.6	0	2.38
	바닥면	2251	20639	0	9.16
사례3	천정면	1056	2523	0	2.38
	바닥면	1110	2682	0	9.41
사례4	천정면	1966	8345	369	4.24
	바닥면	1237	2734	23.7	2.21
사례5	천정면	831	1568	93.3	1.88
	바닥면	841	2035	18.9	2.41

담천공상태를 고려한 사례3과 사례5는 광선반의 유무에 따른 비교분석을 위해 수행되었으며, 확산일사만이 존재하는 외부조건에서도 광선반의 존재에 따라 실 안쪽 깊숙한 곳까지 효과적인 광의 유입이 가능하여 유리한 조건으로 작용하는 것으로 분석되었다.

표 1은 각 사례에서 나타난 조도수준 및 주광율을 분포를 나타낸 것이다. 표에도 나타나듯이 실내의 평균조도를 비교해 보면 광선반이 없는 경우에서 광선반이 설치된 사례에 비교하여 약 2배가량 높은 조도수준을 갖는 것으로 보이고는 있으나, 이는 광선반이 없는 사례에서 일부 직달일사의 유입으로 인해 창호에 가까운 부분에서 극단적으로 높은 조도수준이 나타나 평균 조도값을 높게 나타내게 하는 것일 뿐 실제적으로는 각 면에서 광선반이 설치된 사례에서 전반적으로 안정된 조도수준을 갖고 있는 것으로 분석되었다.

따라서 실제조건과 가장 유사하게 분석할 수 있는 사례로는 청천공 상태의 광선반이 없고 실내차양장치에 의한 일사조절을 하는 사례 2와, 광선반이 설치되어 직달일사를 차단하고 확산일사를 유도하는 사례 4와의 비교가 가장 적절한 사례로 판단되어 다음으로는 사례 2와 사례 4를 중심으로 분석을 수행하였다.

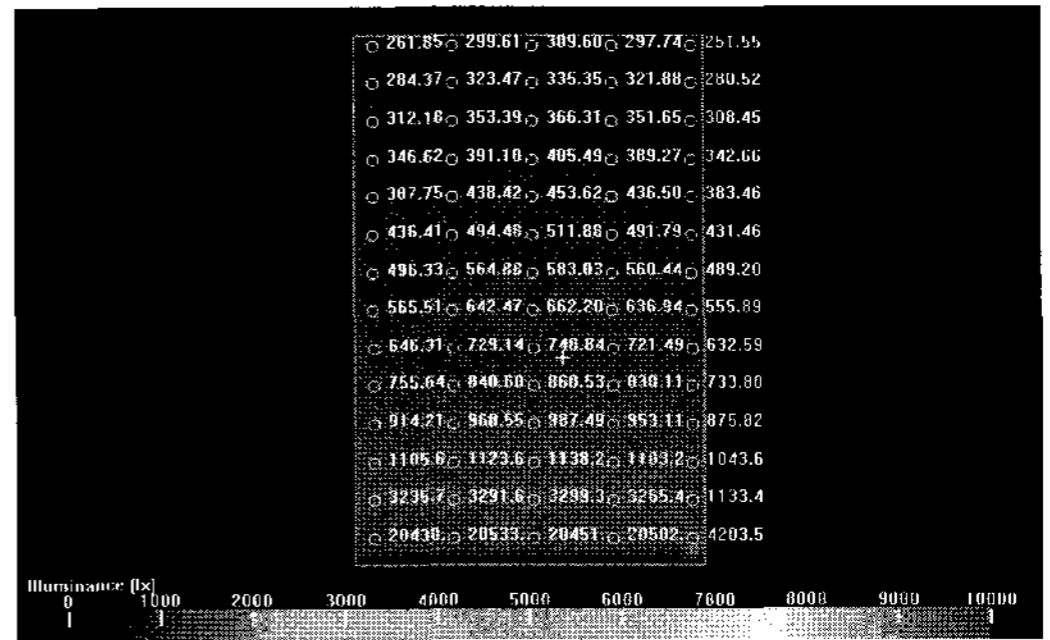


그림 9. 사례2의 바닥면 조도분포

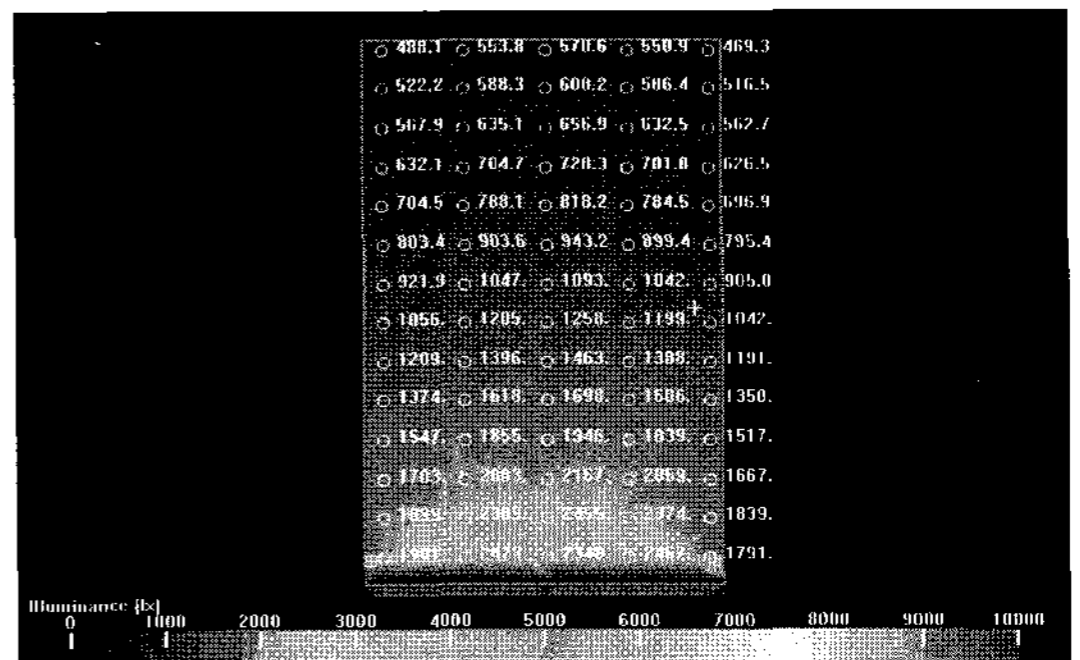


그림 10. 사례4의 바닥면 조도분포

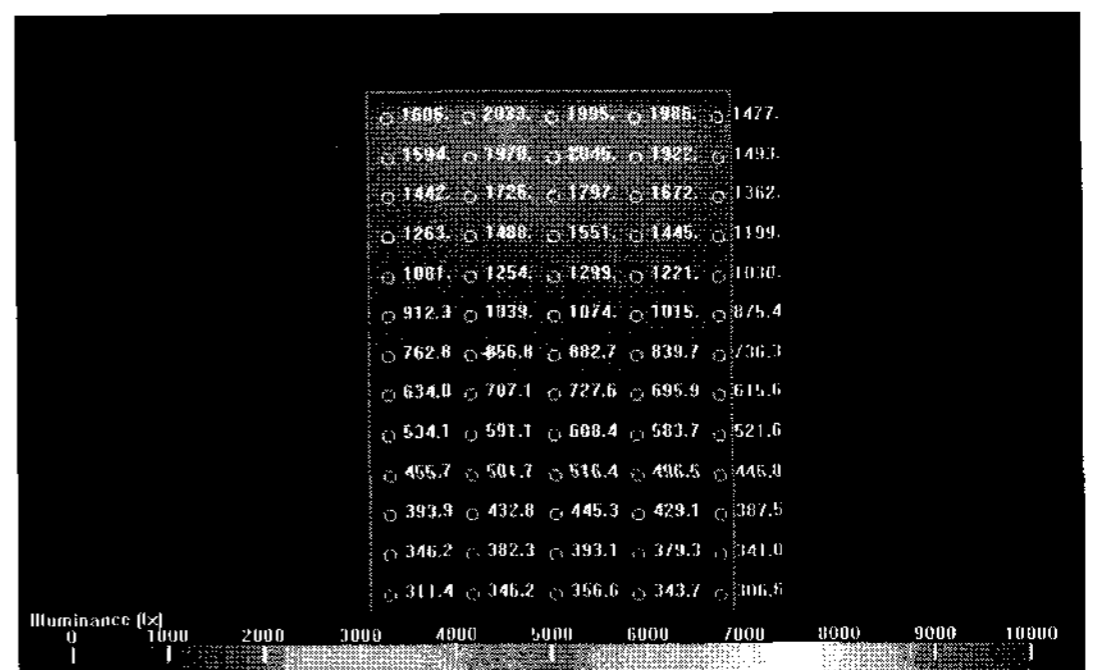


그림 11. 사례2의 천장면 조도수준

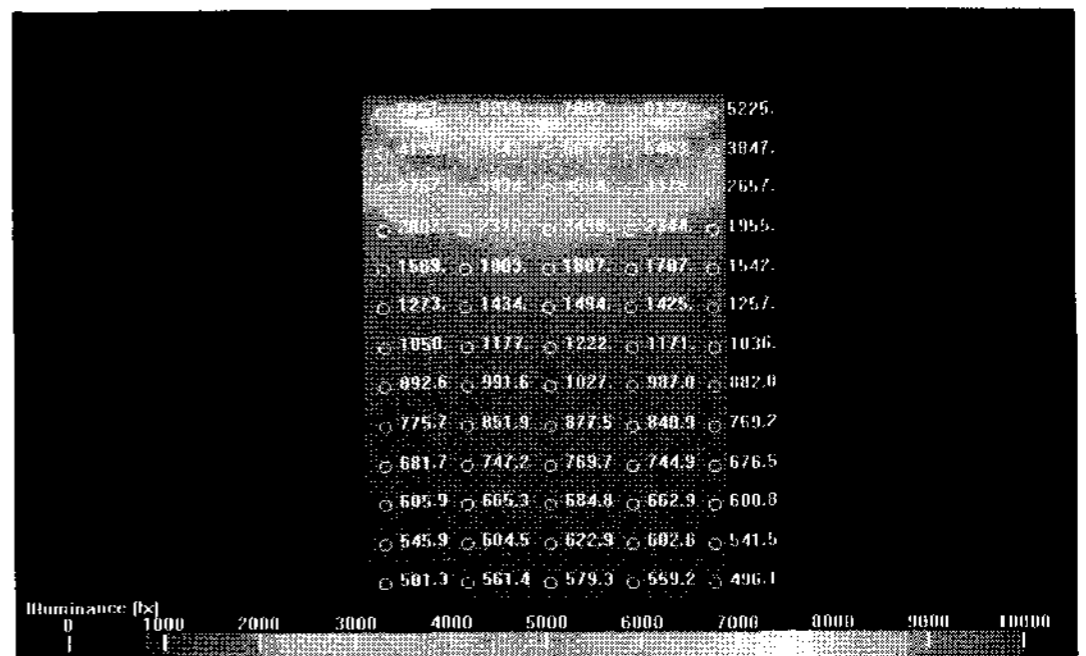


그림 12. 사례4의 천장면 조도분포

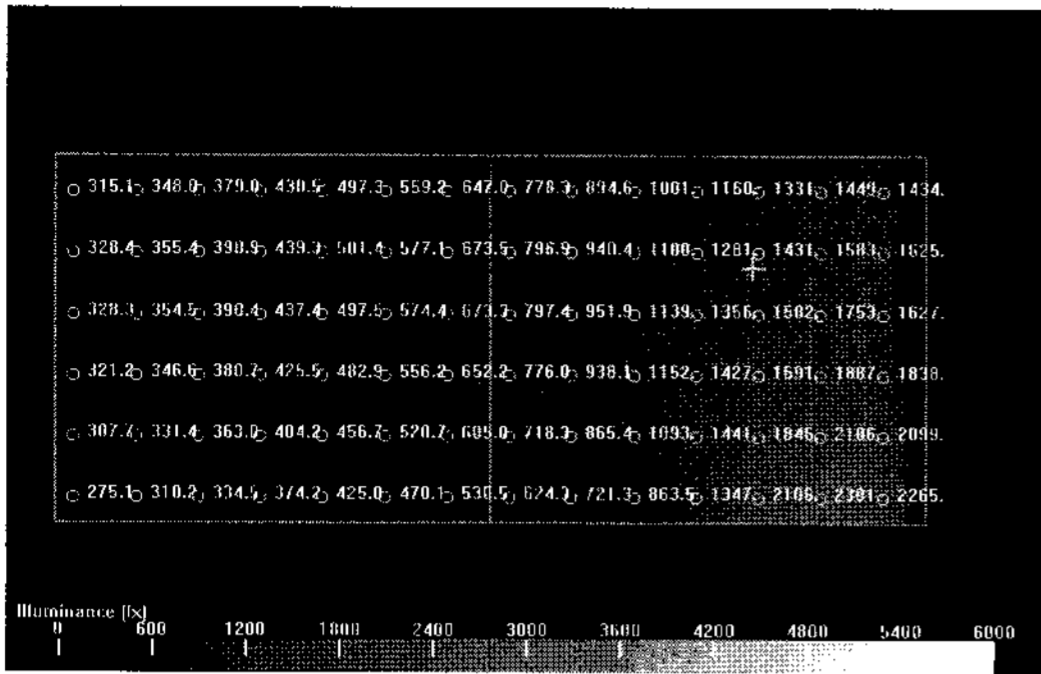


그림 13. 사례2의 우측벽면 조도분포

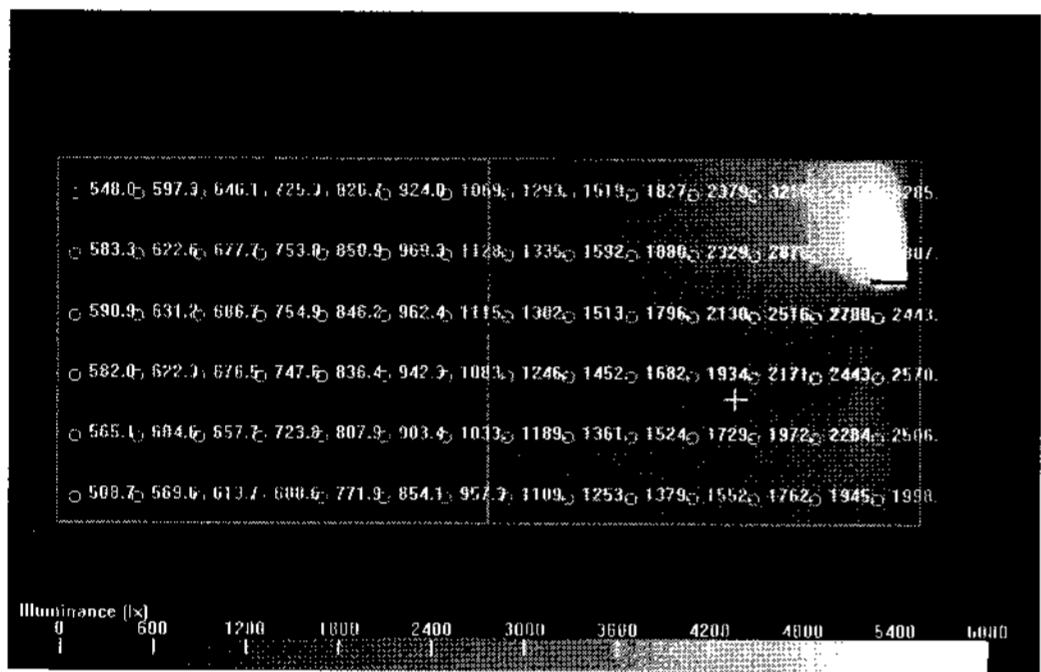


그림 14. 사례4의 우측벽 조도수준

그림 9부터 그림 14는 사례2와 사례4를 대상으로 천장면, 바닥면, 측벽에 대해 실 깊이에 따른 조도분포를 비교할 수 있도록 표현한 그림이다. 그림에서 보는바와 같이 창에 가까운 부근에서는 사례2에서 직달일사의 유입으로 월등히 높은 조도수준을 보이고 있지만, 실의 안쪽으로 들어갈수록 조도수준은 급격히 저하되어 공간내의 조도분포가 현저한 차이를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 사례4의 경우 창측부분의 조도는 사례2에 비해 떨어지지만 실의 가장 안쪽까지 확산광의 유입이 가능하여 실내부 각부분의 조도차이가 심하지 않아 상당히 안정된 조도분포를 나타내고 있는 것으로 분석되었다.

표 2는 사례2와 사례4를 대상으로 각 부분에 대해 조도수준 및 평균주광율에 대한 비교분석을 수행한 것이다. 바닥면에 대한 평균조도는 사례2가 약 2배가량 높게 나타났으나, 이는 창

표 2. 사례2와 사례4의 각 부분별 조도 및 평균주광율 비교

		바닥면	천장면	측벽
사례 2	평균조도(lx)	2,251	922	877
	최대조도(lx)	20,640	2,201	2,368
	최소조도(lx)	0	0	0
	평균주광율(%)	9.16	2.38	2.69
사례 4	평균조도(lx)	1,239	1,969	1,472
	최대조도(lx)	2,738	8,367	8,462
	최소조도(lx)	24.7	370.4	14.8
	평균주광율(%)	2.20	4.24	5.74

가까이 부근에서 직달일사의 유입에 따른 급격한 조도차이에 기인한 것으로, 이는 사례2의 경우 바닥면 및 작업면에서 창쪽으로 현회현상이 상당히 많이 발생할 수 있는 소지를 갖고 있는 것으로 분석되어진다. 반면 사례4의 경우 실전체에서 바닥면에 대한 조도차이가 전체적으로 안정된 조도수준을 나타내고 있어 평균적인 조도수준도 유리하게 확보할 수 있으며, 광선반에 의한 직달일사의 차단으로 창호가 가까이에서 발생할 수 있는 현회현상도 제어할 수 있는 것으로 나타났다.

반면, 천장과 측벽에서는 사례2에 비해 사례4의 경우에서 평균조도가 약 2~3배 높게 나타났는데 이는 광선반에 반사된 직달일사가 천장면으로 효과적으로 확산되어 실 깊은곳까지 유입되는 것을 단적으로 보여주는 것이다. 또한 평균주광율이 사례2와 비교하여 약 2배가량 높게 나타났으나 바닥면이 아닌 천장 및 상부 벽면에서 나타나는 수치이므로 현회에 의한 시환경에는 문제가 없는 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

본 논문에서 정밀 주광해석 방법으로 사용되는 Ray Tracing 방식과 Radiosity 방식에 대한 알고리즘 분석과, 단위공간을 대상으로 주광



제어 시스템의 하나인 광선반 사례를 대상으로 Lightscape 프로그램을 활용하여 시뮬레이션 평가를 수행하였으며, 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 주광해석 방법으로서의 Radiosity 방식이나 Ray Tracing 방식은 Radiosity 방식이 확산 대 확산 상호복사의 해석에 있어 우수한 반면 경면반사의 해석에는 Ray Tracing이 우수하므로 효과적인 주광해석을 위한 방안으로 Radiosity 및 Ray Tracing 기법을 혼합 적용할 수 있는 알고리즘을 이용해 자연채광 시스템의 이론적 시뮬레이션 성능예측을 수행하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.
- 이런 측면에서 조도해석용으로 위의 두가지 방식을 혼합 분석하는 Lightscape 프로그램의 경우 실내측에서 평가되는 조도해석용 평가도구로써 적절한 해석도구인 것으로 판단되며,
- 하절기를 기준으로 직달일사의 차단 및 현휘방지를 위해 적용하는 실내 차양장치(브라인드 등)의 적용 해석결과, 채광측면에서는 차양장치가 없는 것에 비교하여 약 30%정도의 조도만을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.
- 그러나 광선반 시스템의 경우 각 지역의 태양고도각을 고려한 적절한 설치로 직달일사를 효과적으로 차단하고 주광을 천장면을 통해 확산 유입시킴으로써 현휘현상의 차단할 수 있으며, 실의 안쪽 깊은 곳까지 안정적인 조도수준을 유지할 수 있는 것으로 나타났다.
- 이는 하절기 일사조절을 위해 실내에 설치되는 브라인드가 고려된 창호 사례에서는 천정 및 벽면에 비교하여 바닥면의 평균 주광율이 약 3.5배 이상 차이를 나타내게

되어 현저한 주광율 차이에 의한 현휘 현상이 예상되는 반면, 적절한 규모의 광선반이 적용된 시스템에서는 바닥대비 천정 및 벽면의 평균 주광율 비율이 2.0배 정도로 직달일사의 실내 유입에 따른 현휘현상을 제거할 수 있는 것으로 나타났다.

- 본 논문은 광선반 시스템의 실내조도 개선 효과에 대한 사전예측을 하기 위해 수행되었으며, 차후 실측 실험을 통해 모델의 신뢰성을 확인한 후 다양한 변수 시뮬레이션이 수행 될 예정이다.

### 참 고 문 헌

1. Beltran, L.O., E.S. Lee, S.E. Selkowitz. Advanced Optical Daylighting Systems : Light Shelves and Light Pipes, Journal of the Illuminating Engineering Society 26 (2), 1997, pp.91-106.
2. DiBartolomeo, D.L., E.S. Lee, F.M. Rubinstein, S.E. Selkowitz. Developing a Dynamic Envelope/Lighting Control System with Field Measurements, Journal of the Illuminating Engineering Society 26 (1), 1997, pp.146-164.
3. Lee, E.S., L.O. Beltran, S.E. Selkowitz, H. Lau, G.D. Ander. Demonstration of a Light Redirecting Skylight System at the Palm Springs Chamber of Commerce, In Proceedings of the ACEEE 1996 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Washington, D.C. American, 1996, pp. 229-241.
4. Floyd, D. and Parker, D. Field Commissioning of a Daylight-Dimming Lighting System, Proceedings of the 3rd European Conference on Energy-Efficient Lighting, Newcastle Upon Tyne, United Kingdom, 1995.

5. Klems, J.H., M. Yazdanian, G. Kelley, D. DiBartolomeo, E.S. Lee, S. Selkowitz, Heat Flow Measurements of an Integrated Venetian Blind and Electric Lighting System using the Mobile Window Thermal Test (MoWITT) Facility, Working information (January 1994) for the multiyear project Envelope and Lighting Technology to Reduce Electric Demand Phase II, California Institute for Energy Efficiency (CIEE), 1994.
6. 윤종호, "태양열 건물의 기술현황 및 보급사례", 설비공조냉동위생, 한국설비기술협회, vol 17. No 9, 2000.