

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

축소모형을 이용한 광선반의 시환경 특성 평가 연구

조일식*, 김병수**, 이진숙***

*한국에너지기술연구원 (yscho@kier.re.kr), ** 충남대학교 건축공학과
***충남대학교 건축공학과 교수

Visual Performance Evaluation Study of a Scaled Light-Shelf Model

Cho, Yil-Sik*, Kim, Byoung-Soo**, Lee, Jin-Sook***

* Korea Institute of Energy Research, ** Department of Architecture, Chungnam University
*** Department of Architecture, Chungnam University

Abstract

According to the recent report, the lighting energy consumption of commercial buildings reaches to 30%~40% of the total energy consumption. It is more than that of cooling & heating energy consumption and it is the major target of energy-saving policy. It is obvious that they are interested in natural lighting device such as Light-shelf for the purpose of raising the lighting energy-saving efficiency. In most of highly developed countries, a thorough study on Light-shelf makes it possible to propose a practical plan, while at home there leaves much to be desired to study a guiding principle of optimum plan in spite of its efficiency based on experiments using scaled model and analysis of simulation.

Aiming at making an optimum plan of Light-shelf suitable for the domestic situation, this study is worked by experiments using light-shelf and analysis of variables using illumination program. The experiments is to analyse the efficiency of Light-shelf on condition of the sky and the analysis is to make the simulation using illumination program. This study is composed of 1) the analysis of light with some variables such as presence of light-shelf and degree of angle using 1/2 scaled model 2) making the simulation using Lightscape, illumination program.

In brief, concerning presence of light-shelf, it causes little difference in its efficiency in the overcast sky, whereas it decreases an illuminance of window side and provides inner side with the light, which decreases the ratio of the maximum to the minimum inner

illuminance and makes the inner of illuminance to range evenly in the clear sky. On degree of angle, as the daylight increases in proportion of degree of angle, the ratio of the maximum to the minimum inner illuminance decreases, which makes it possible to increase the proportion of inner daylight.

Keywords : 광선반(Light-shelf), 축소모형(Scaled model), 주광율(Daylight factor), 청천공(Clear sky), 담천공(Overcast sky), 실내외조도(Exterior-interior illuminance)

1. 서 론

1.1 연구의 목적

최근 상업용 건물의 에너지소비량 중 조명·설비 에너지 소비량이 전체 에너지 소비량의 30%~40%를 차지하고 있으며, 이는 냉난방에너지 소비량을 상회하는 것으로 에너지 절약을 위한 최우선 대상이 되고 있다.

급증하는 건물의 전기에너지 소비를 해결할 수 있는 확실한 기술분야 중 하나는 조명기기에 소비되는 전력을 절감하는 동시에 재실자들에게 시각적 쾌적감을 제공하고, 하절기 냉방부하의 저감효과까지 기대할 수 있는 자연채광의 이용이 가장 효과적인 방법이라 할 수 있다.

일반적으로 자연채광을 이용하는 방법은 설비형 시스템과 자연형 시스템으로 구분하고 있다. 설비형 시스템은 특수한 설비를 이용하기 때문에 집광 효율은 우수하지만 고가의 기기를 사용하기 때문에 기술적·경제적인 측면에서 실용화 되지 못하고 있다. 자연형 시스템의 경우 광선반과 같이 건축적 요소들을 건축설계적 기법을 통해 저가의 비용으로 양질의 조명환경과 전기에너지의 절약효과를 얻는 장점 때문에 선진국에서는 활발한 연구가 진행되어져 왔다. 하지만 국내의 경우 축소모형을 이용한 실험과 시뮬레이션 분석에 의해 성능평가는 이루어졌지만 국내실정에 적합한 광선반의 최적설계지침에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 광선반의 실험모형을 이용한 실험과 조명해석 프로그램을 이용한 변수분석을 통

해 국내의 실정에 맞는 광선반의 최적설계안 도출을 연구의 최종목적으로 하고 있으며, 현 단계에서는 실험모형의 실험을 통해 천공상태별 광선반의 성능분석과 조명해석 프로그램을 이용한 시뮬레이션 해석모형을 도출하는데 연구의 목적이 있다.

1.2 연구의 방법

본 연구는 실제 사무공간을 재현한 실물대 모형을 이용하여 광선반의 성능평가를 수행하였으며, 전체적인 연구의 진행은 다음과 같다. 첫째, 실물대 모형의 설치위치에 대한 위도, 경도, 시간을 변수로 하여, 실험모형의 남측면 개구부에 적합한 광선반의 크기를 산출하였다. 둘째, 앞에서 얻어진 광선반을 이용하여, 광선반의 유무, 설치각도등을 변수로 하여 실험을 실시하였다. 셋째, 실험결과 분석과 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 실험 결과에 대한 검증작업을 실시하였으며, 시뮬레이션 해석모형을 선정하였다.

2. 자연채광방식의 이론적 고찰

자연채광기술은 확산된 자연광을 최대한 실내로 유입해 인공조명의 점등을 최소화 하는 기술로, 천창, 고창, 아트리움, 광선반 등과 같이 태양을 추적하지 않고 건축설계적 기법을 통해 채광을 하는 자연형채광방식(passive system)과, 보다 적극적으로 태양을 추적하여 집광, 전송, 배광하는 설비형자연채광방식(active system)으로 구분할 수 있다.

2.1 설비형 자연채광시스템

설비형 채광방식은 그림 1과 같이 헬리오스태트를 통한 방향전환 또는 전송효율을 높이기 위해 평면 렌즈, 접시형반사판 등으로 집광하는 경우가 일반적이며, 전송은 광섬유를 이용한 광케이블이나, 고반사율 소재를 이용한 광덕트 방식이 일반적이다.

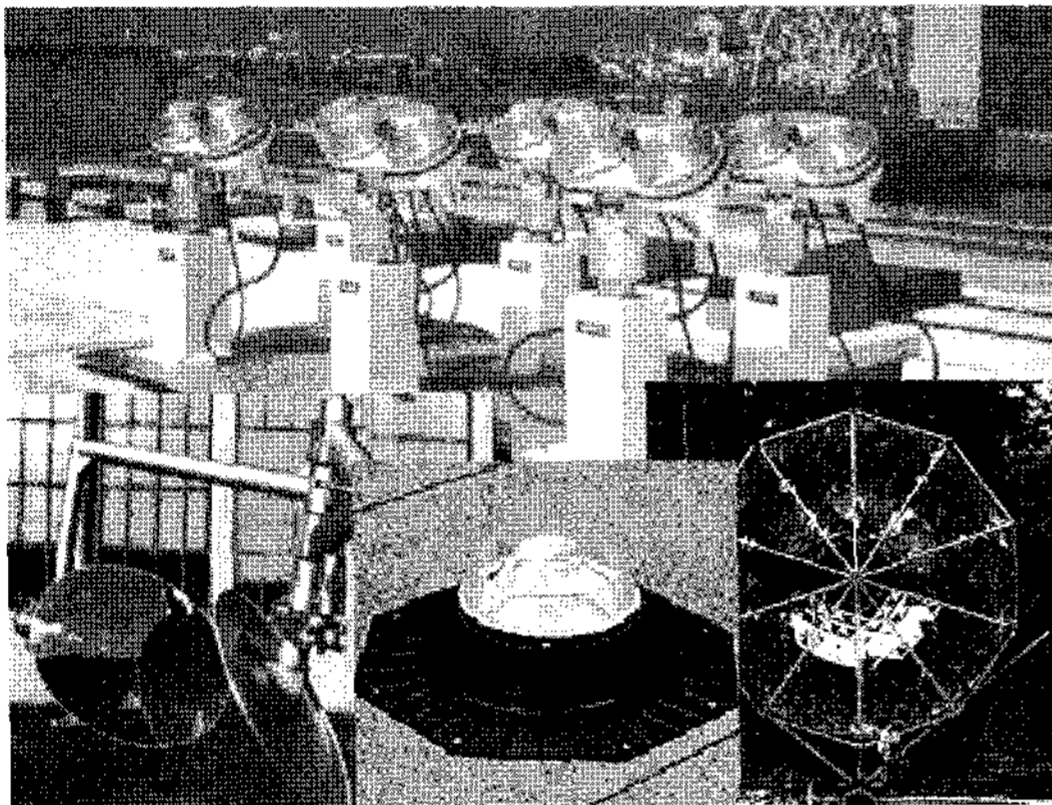


그림 1. 설비형 채광시스템의 예

한편 전기에너지를 절감할 수 있는 잠재성으로 인해 자연채광에 대한 설계 및 연구는 오랜 기간 수행되어 왔으며, 적극적인 응용 및 보급을 위해서는 설비형 자연채광 시스템이 미래지향적인 기술이라 할 수 있다. 하지만 평면렌즈, 프리즘렌즈, 광케이블 또는 광덕트를 이용한 설비형 자연채광 시스템에 대한 개발연구는 90년대 이후 국내에서도 몇 차례 시도되었으나 시스템 경제성 문제나 집광되어 전송된 광원을 실내에 효과적으로 분배하는 기술의 부족과 조명에너지 절약을 위한 인공 조명과의 연계기술이 부족하여 국내에서는 실용화되지 못하고 있는 실정이다.

2.2 자연형 자연채광시스템

자연형 채광방식은 그림 2와 같이 아주 오래전부터 천창이나, 고창, 아트리움, 광선반과 같은 형태로 건축적인 설계기법을 통해 건물의 일부로서

활용하고 있다. 그러나 대부분 남측면에 고정식으로 설치하기 때문에 일사제어에 어려움이 있으며, 북측이나 지하공간의 채광효과를 기대하기 어렵다. 또한 인접건물이나 지역적 특성에 큰 영향을 받는 단점을 가지고 있다. 하지만 설비형 채광방식과 달리 건물을 구성하는 요소이기 때문에 건물과의 일체감을 형성할 수 있고, 다양한 형태로 적용할 수 있을 뿐만 아니라 채광성능에 비해 비용이 매우 저렴하기 때문에 손쉽게 적용할 수 있는 큰 장점을 가지고 있다.

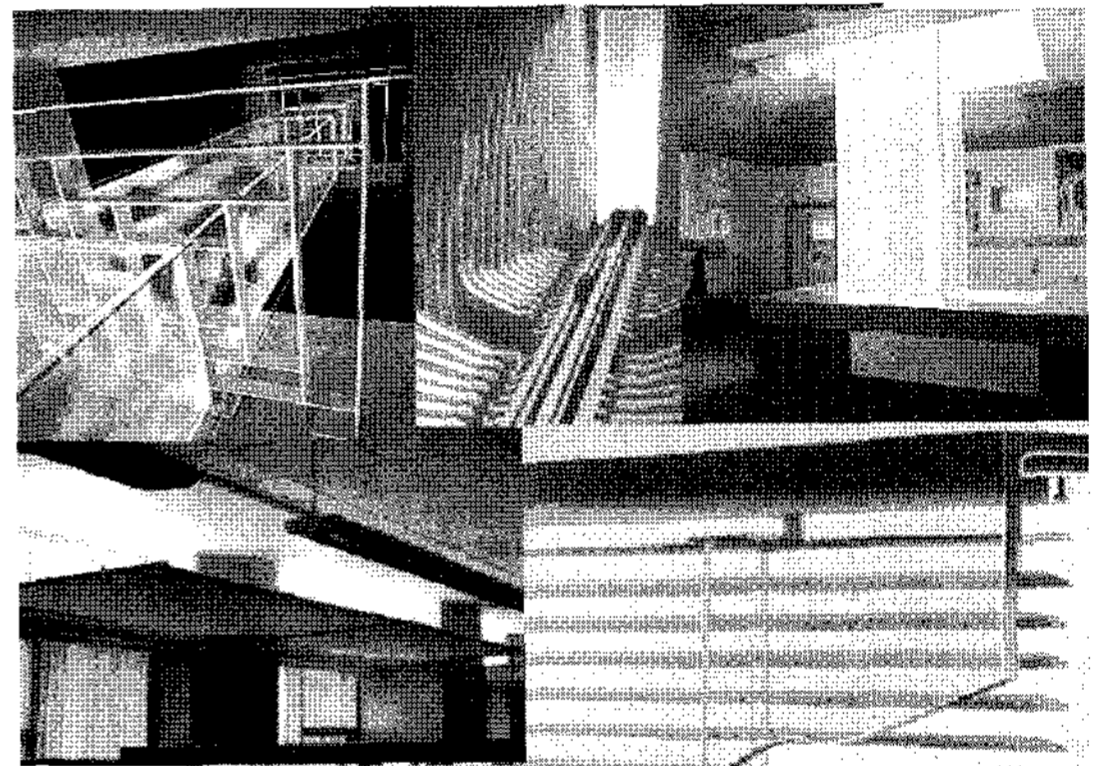


그림 2. 자연형 채광시스템의 예

3. 광선반의 성능실험

3.1 실물대모형의 개요

광선반의 채광성능 실험을 위해 본 연구에서는 실제 오피스 모듈 크기의 실물대 모형을 제작하였다. 광선반의 크기는 하지를 설계기준으로 정하였으며, 대전지역의 위도, 경도와 시간별 태양고도를 변수로하여 AutoCAD와 일영해석프로그램을 이용하여 하지 정오에 창으로 직광이 완전히 차단되도록 하여 광선반의 크기를 산출하였다.

실물대 모형의 크기는 가로(W), 세로(L), 높이(H)가 각각 2150mm, 3450mm, 1400mm로 되어 있다. 광선반은 바닥에서 900mm 위에 설치하였으며, 외측 광선반은 가로, 세로 각각

400mm, 1350mm, 내측광선반은 가로, 세로 각각 200mm, 1350mm으로 설치하였다. 광선반의 상부는 반사율이 95%인 필름지를 적용하였다. 모형의 내부의 반사율 및 색채는 일반적으로 사무소 건물에서 많이 사용하는 색채와 반사율에 관한 선행연구자료를 근거로 점물색차계와 무광택도료를 사용하여 반사율과 색채를 조절하였으며 자세한 사항을 표 1에 나타내었다.

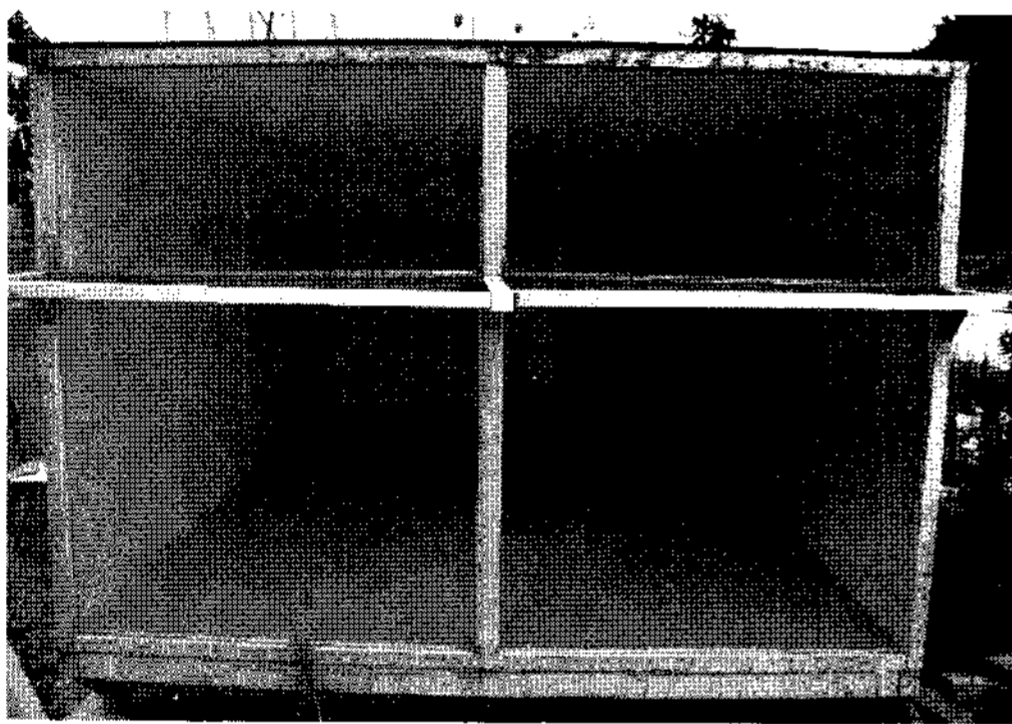


그림 3. 실험모델의 실제모습

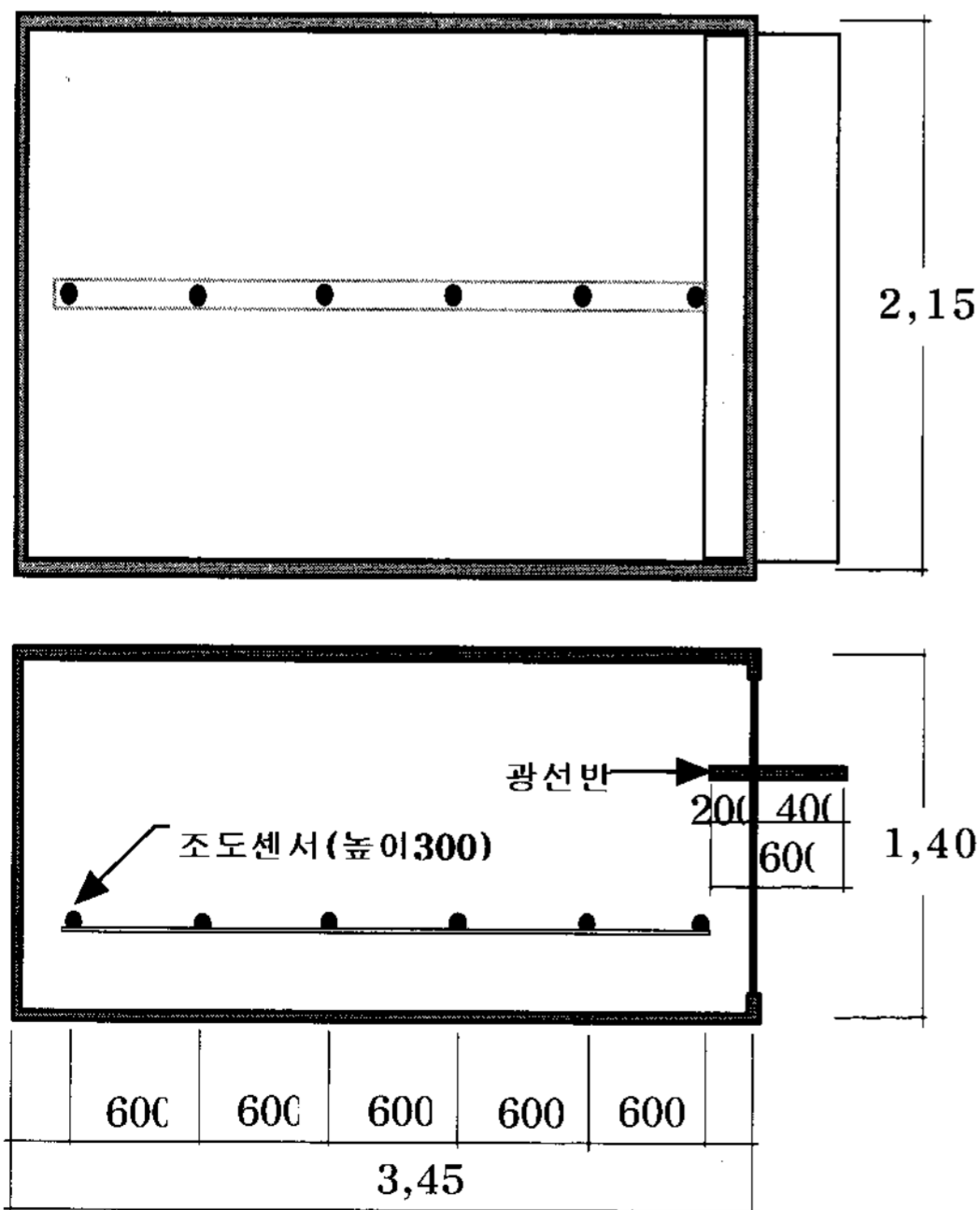


그림 4. 축소모형의 치수

실내 수평면조도와 외부수평면조도 측정하기 위해 측정범위가 0~120,000lux의 범위를 갖는 조도계(Minolta LS100)를 사용하였다.

표 1. 실물대 모형의 개요

부 위	반사율(%)	투과율(%)
천 정	85	-
내 벽	80	-
바 닥	70	-
유 리		90
광 선 반	95	-

3.2 실험방법 및 조건

보통 실험모델은 1/5이하의 작은 축소모형을 이용하는 것이 일반적인 방법이지만 본 연구에는 실험의 정확성을 고려하여 실물과 유사한 크기의 실험모델을 제작하였다. 실험변수는 광선반의 설치유무, 설치각도등으로 하였으며 7월에서 10월동안 외부조도가 90,000lux이상인 비교적 청천공조조건과 20000lux 이하의 담천공조조건에서 실험을 실시하였다. 센서의 위치는 그림4에 나타난 것과 같이 600mm 간격으로 5개의 센서를 설치하였으며, 측정시간은 10시, 12시, 14시, 16시로 정하였다. 광선반의 설치각에 따른 성능실험에서는 광선반을 외측과 내측으로 분리하였으며, 내측광선반은 수평으로 고정한 후, 외측광선반의 설치각도를 0°(수평), 10°, 15°, 20°로 적용하였다.

3.3 실험의 결과 및 분석

1) 광선반 설치유무에 따른 분석결과

광선반의 설치유무에 따른 실험결과 외부수평면조도가 75,000~105,700lux인 청천공조조건에서 광선반이 설치된 실험모델의 실내조도분포는 그림5와 표2에 나타난 것과 같이 시간별 평균조도가 가장 높은 위치는 창측이며, 내측으로 갈수록 서서히 감소하는 것으로 나타났다.

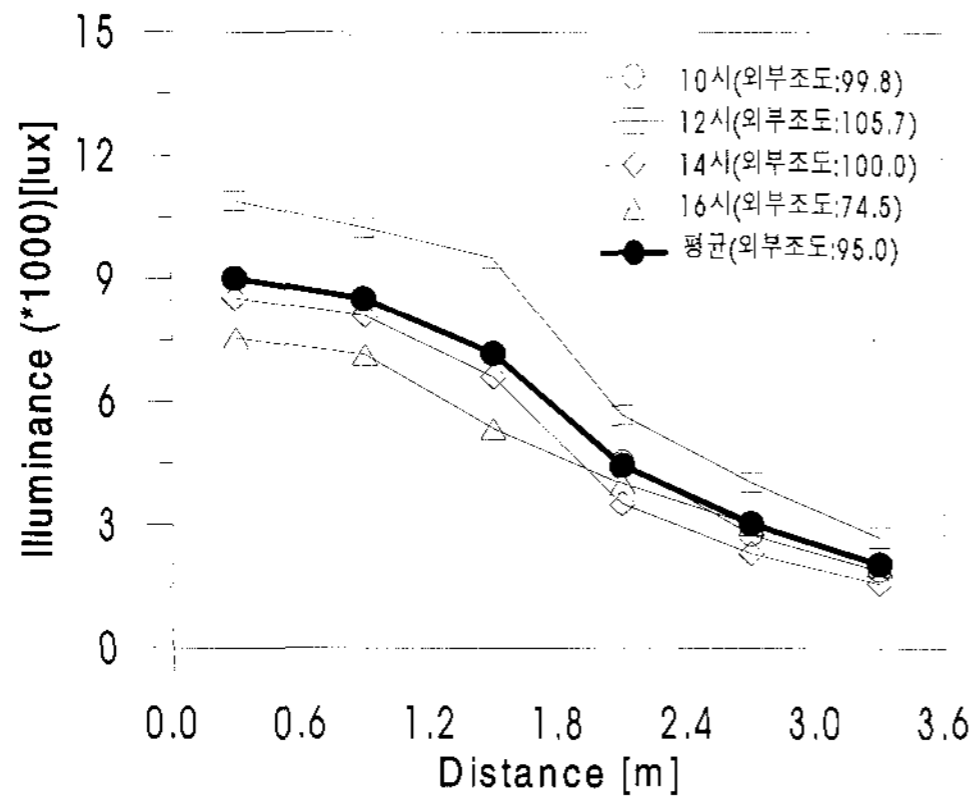


그림 5. 광선반이 설치된 실험모델의 시간별 실내조도분포(청천공)

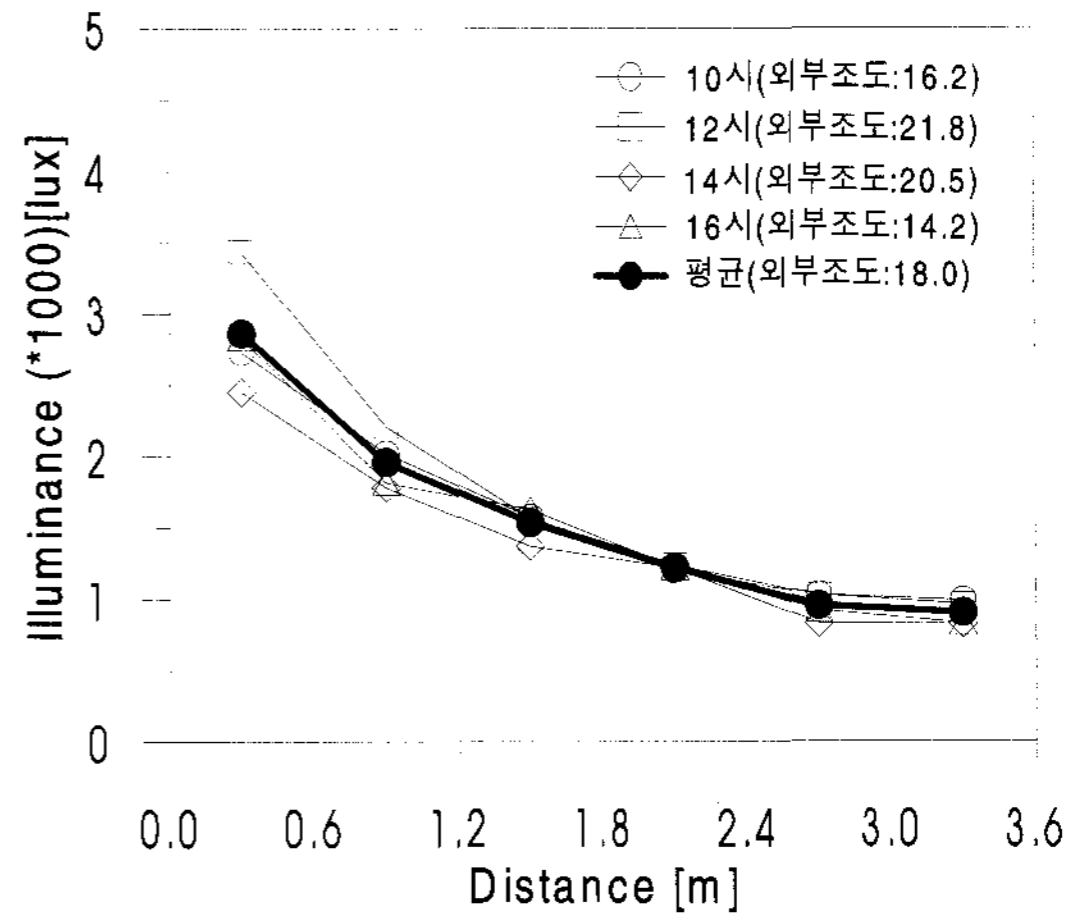


그림 8. 광선반이 없는 실험모델의 시간별 실내조도분포(담천공)

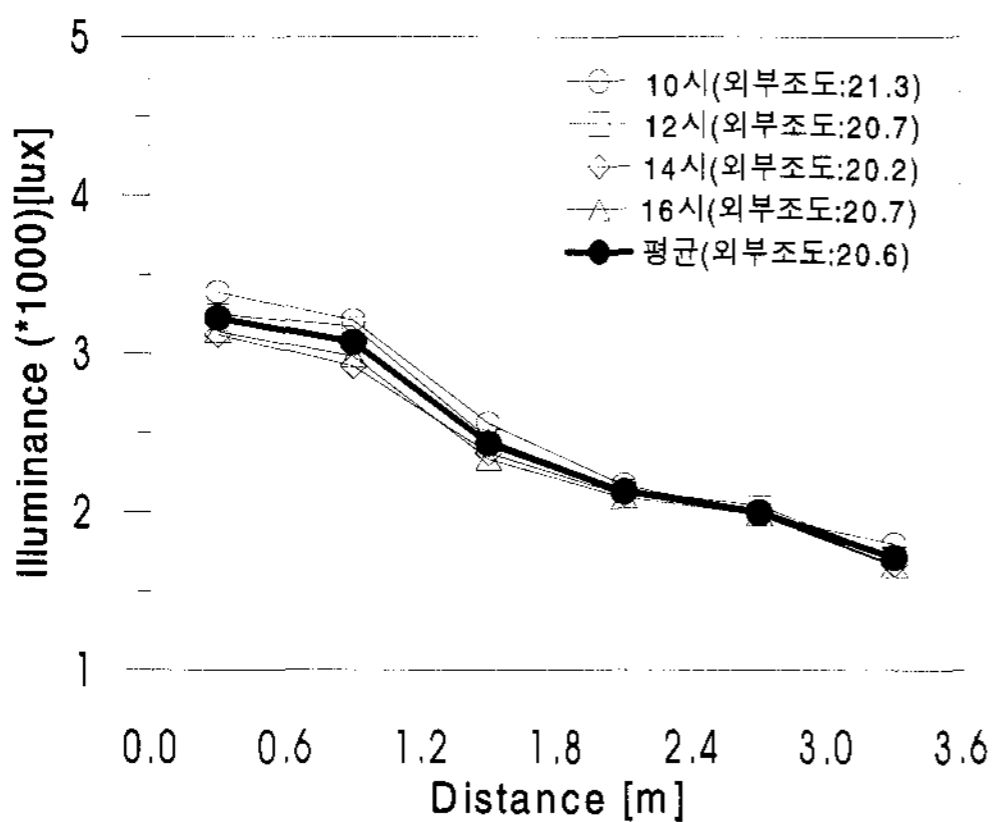


그림 6. 광선반이 설치된 실험모델의 시간별 실내조도분포(담천공)

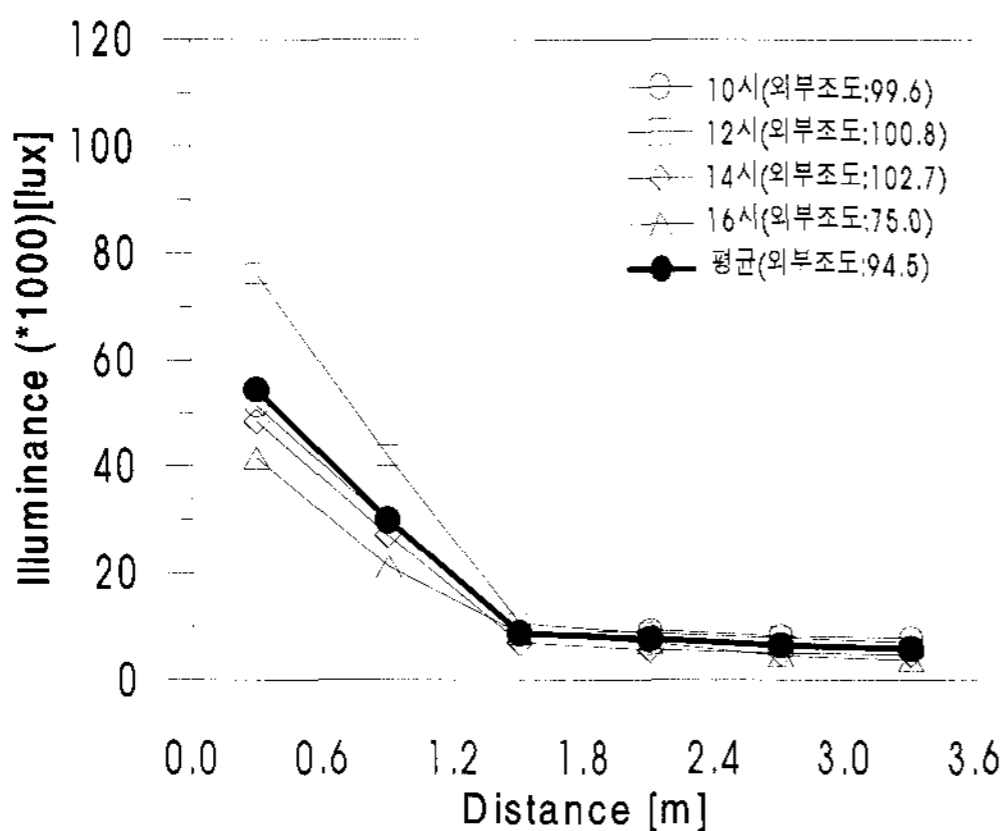


그림 7. 광선반이 없는 실험모델의 시간별 실내조도분포(청천공)

광선반이 설치된 경우 실내조도의 최대/최소조도 비와 주광율은 약 3.5배정도 감소하는 것으로 나타났다.

외부수평면조도가 약 20,000lux인 담천공조건에서의 실험결과를 그림 6, 그림 8에 나타내었다. 그림에 나타난 것과 같이 실내조도분포는 청천공과 같이 창측의 조도가 내측조도보다 높게 나타났다.

담천공하에서 광선반이 설치된 경우 주광율은 약 12%상승하였으며, 최대/최소조도비는 50%이상 감소하는 것으로 나타났다. 하지만 청천공에 비해 조도의 절대감소량은 상대적으로 매우 작은 값을 나타내고 있기 때문에 담천공 조건에서 광선반의 설치에 따른 채광효과는 거의 없는 것으로 분석되었다.

이상의 천공조건별 광선반의 설치유무에 따른 실험결과 담천공하에서는 광선반의 설치에 따른 성능 차이는 거의 나타나지 않았지만, 청천공에서는 창측조도를 급격히 감소시키고 내측조도를 상승시켜 실내조도분포가 매우 균일하게 형성되는 것을 알 수 있다. 이것은 실내의 시환경 개선효과뿐만 아니라 하절기 일사에 의한 냉방부하의 증가를 차단할 수 있을 것으로 사료된다.

표 2. 광선반의 설치유무에 따른 실험분석결과

천공 상태	광선반 설치유무	시간 항목	10시	12시	14시	16시
			청천공	유	평균	5650
		최대	9020	10900	8510	7550
		최소	1890	2690	1570	2000
		DF	5.66	6.78	5.10	6.49
		최대/최소조도비	4.77	4.05	5.42	3.78
	무	평균	19112	25392	16278	14400
		최대	51400	76200	48300	41500
		최소	7870	7050	4800	3700
		DF	19.19	25.19	15.85	19.20
		최대/최소조도비	6.53	10.81	10.06	11.22
담천공	유	평균	2518	2463	2363	2363
		최대	3390	3250	3120	3140
		최소	1800	1720	1670	1660
		DF	11.82	11.90	11.70	11.61
		최대/최소조도비	1.88	1.89	1.87	1.89
	무	평균	1590	1741	1412	1540
		최대	2730	3440	2447	2830
		최소	994	967	828	831
		DF	9.77	8.18	6.87	10.79
		최대/최소조도비	2.74	3.55	2.95	3.40

2) 광선반의 설치각에 따른 분석결과

광선반의 설치유무에 따른 분석실험결과 담천공에서는 광선반의 효과가 없는 것으로 나타났다. 따라서 광선반의 설치각에 따른 성능평가실험은 청천공조건에서 실시하였으며 창을 기준으로 광선반을 내측과 외측으로 분리하여 내측광선반을 수평으로 고정시킨후, 외측광선반의 설치각도를 수평, 10°, 15°, 20°상향 조정하여 실험을 실시하였다.

실험결과 그림 9에 나타난 것과 같이 광선반의 설치각도가 수평, 10°, 15°, 20°의 최대/최소조도는 각각 4.05, 1.69, 1.84, 1.78로 나타났으며, 주광률(DF)는 각각 6.78, 10.89, 11.16으로 나타났다. 따라서 동일한 크기의 광선반의 경우 설치각이 수평보다 상향조정할 경우, 광선반에 의해 실내측으로 빛의 양이 많아지게 되어 최대/최소조도비의 값이 감소하게 되고, 주광률은 상승하

는 효과가 있는 것으로 나타났다.

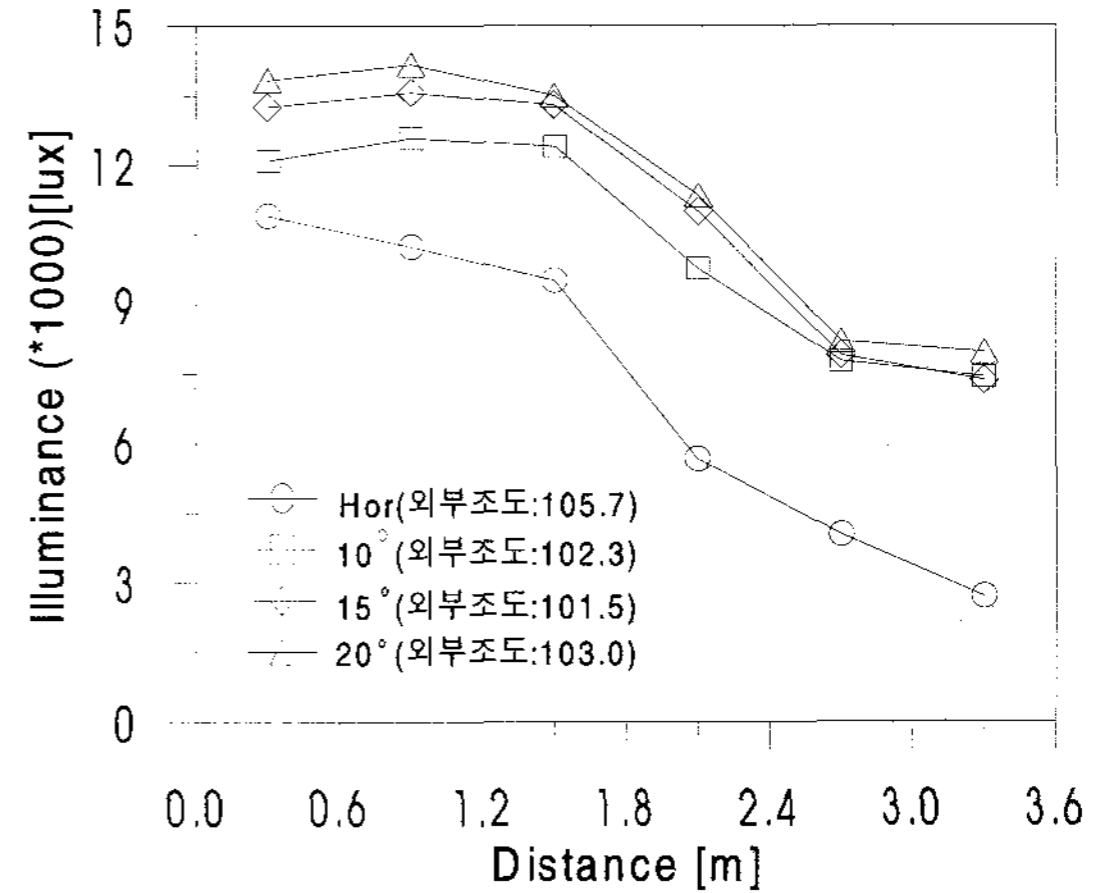


그림 9. 광선반의 설치각에 따른 실내조도분포

표 3. 광선반의 설치각에 따른 실험분석결과

천공 상태	광선반 설치유무	각도 항목	0°	5°	15°	20°
			청천공	유	평균	7171
		최대	10900	12590	13570	14170
		최소	2690	7430	7360	7960
		DF	6.78	10.11	10.89	11.16
		최대/최소조도비	4.05	1.69	1.84	1.78

4. LightScape을 이용한 시뮬레이션 해석모델의 선정

4.1 Lightscape의 개요

본 연구에서 주광해석용 프로그램으로 Lightscape를 이용하였다. 주광해석용 프로그램으로는 미국의 LBL에서 제공하는 Superlite와 Radiance은 해석알고리즘으로 Ray-tracing을 이용하고 있다. Ray-tracing 알고리즘은 경면반사에 대한 해석이 비교적 정확한 장점이 있지만, 시점의존적인(view-dependent)방식이라 관측점을 변화시킬때마다 계산을 다시 수행해야 하는 단점을 가지고 있다. 반면 최근 Autodesk사에서 개발한 Lightscape은 해석알고리즘으로

Radiosity 방식을 사용하고 있다. Radiosity 알고리즘은 공간 전체에 대한 조도분포를 미리 계산하기 때문에 관측점이 변해도 재계산이 필요없는 시점독립적(view-Independent)인 방식이다. 또한 Lightscape은 AutoCAD상에서 3차원모델링된 파일을 활용할 수 있기 때문에 다른 프로그램에 비해 해석대상을 정확하게 빨리 모델링 할 수 있는 장점을 갖고 있다. 최근 주광해석용으로 Lightscape에 대한 오차율 검증 및 유효성분석을 통해 주광해석 프로그램으로서 인정을 받고 있다.

4.2 시뮬레이션 프로그램의 입력조건

Lightscape을 통한 해석모델의 시뮬레이션 입력 조건은 축소모형실험에서 분석된 것과 같이 담천 공하에서 광선반의 채광효과는 거의 없는 것으로 나타났기 때문에 천공조건은 청천공으로 한정하였다. 내부와 광선반의 반사율은 실험모델과 동일하게 적용하고 외부 건물에 대한 영향은 없는 것으로 가정하였으며, 지면 반사율은 20%, 방위는 정남향으로 하였다. 해석모델의 입력조건에 대한 자세한 사항을 표 1에 나타내었으며 Lightscape에서 모델링된 해석모델의 내부모습을 그림 10에 나타내었다.

표 4. Lightscape 시뮬레이션을 위한 변수입력

변수의 종류		변수 설정값
시 간		8월 20일 12시, 16시
위 치		대전, 위도36, 경도-126
천공조건		청천공
방위		정남향
반사율	천 정	85%
	벽	80%
	바 닥	70%
	광선반	95%
투과율	유리창	90%
외부조도		12시:100,800lux 16시:75,000lux

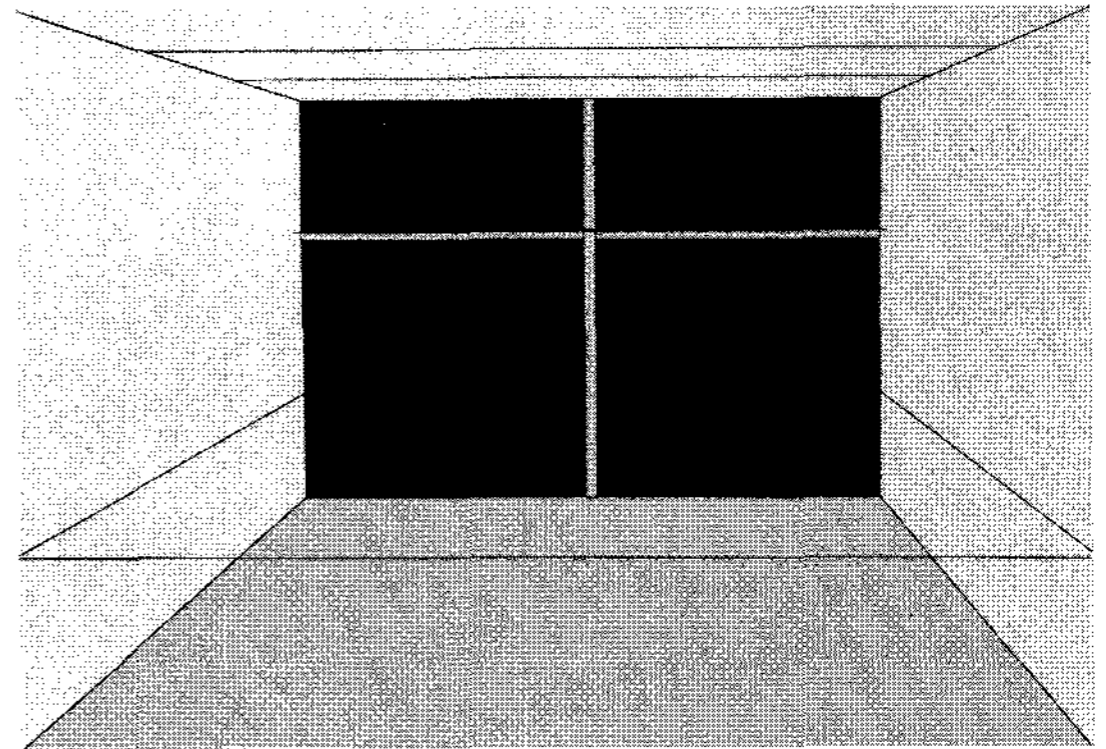


그림 10. Lightscape를 이용한 해석모델의 입력모습

4.3 시뮬레이션 보정을 통한 해석모델도출

Lightscape를 이용한 시뮬레이션 보정결과를 그림 11과 그림 12에 나타내었다. 분석결과 12시의 경우 창측부분에서 약 11%정도 시뮬레이션값이 크게 나타났으며, 평균 7.8%의 오차율을 나타내고 있다. 16시의 경우 12시와 같이 창측부분에서 약 8.9%의 오차율을 나타내고 있으며, 내측의 경우 약 28%의 오차율을 나타내고 있지만 절대오차값은 매우 작은 것으로 나타났으며, 평균 15.6%의 오차율을 나타내고 있다.

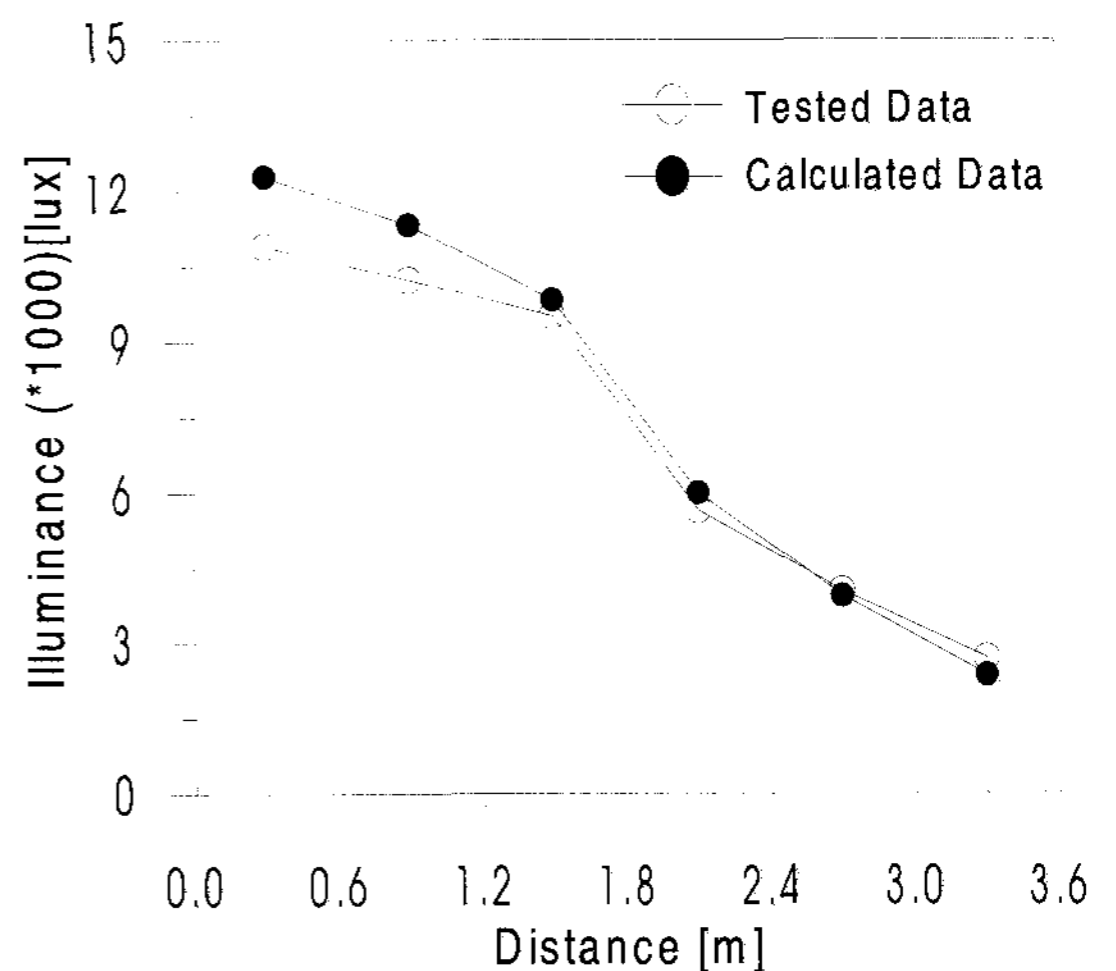


그림 11. Lightscape를 이용한 실험결과와의 보정(청공조건:청천공, 12시, 외부조도:105700)

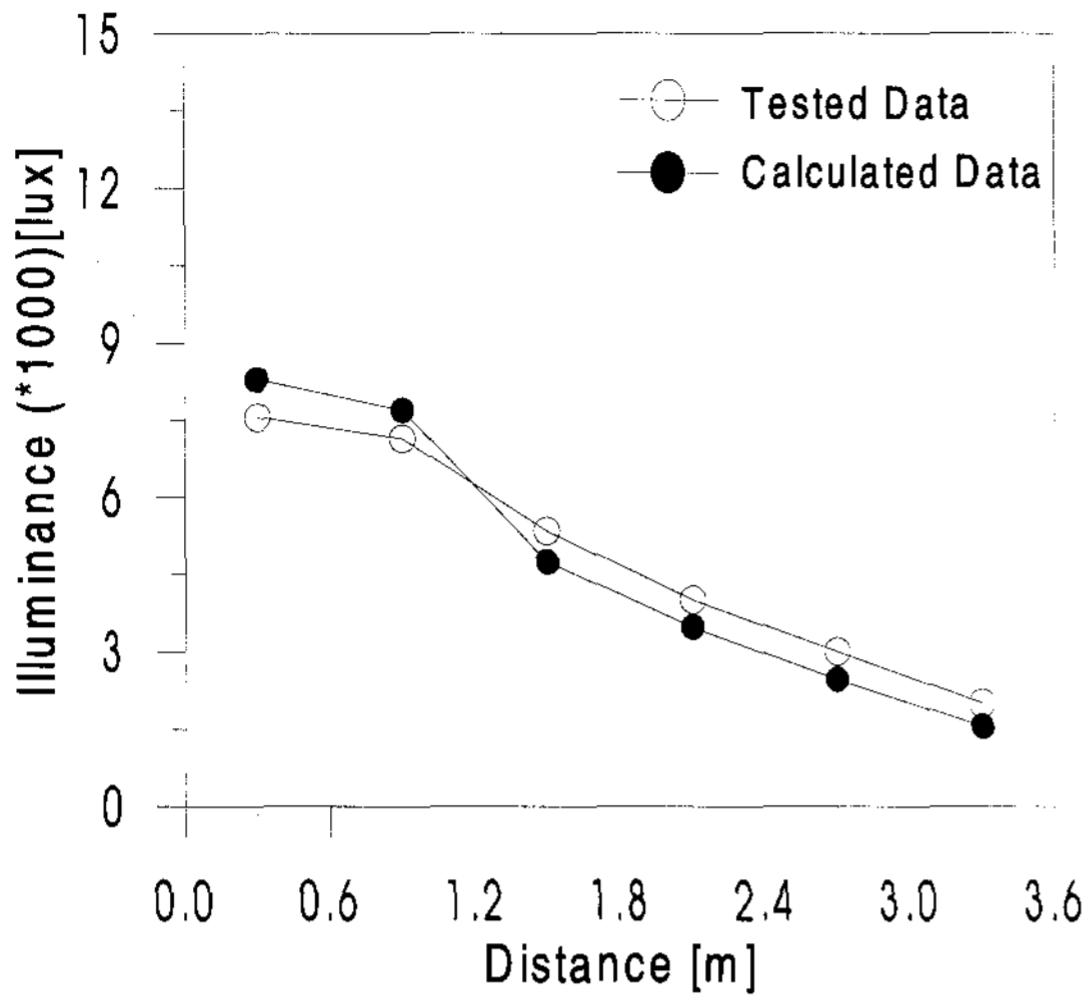


그림 12. Lightscape를 이용한 실험결과와 보정(청공조건:청천공, 16시, 외부조도:75000)

표 5. Lightscape를 통한 시뮬레이션 검증분석결과

천공 상태	외부조도	항목	실험	시뮬레이션	오차율
		거리			
청천공	105700	0.3	10900	12300	11.38
		0.9	10240	11340	9.70
		1.5	9510	9830	3.25
		2.1	5660	6010	5.82
		2.7	4030	3930	2.54
		3.3	2690	2350	14.46
		평균			7.86
	75000	0.3	7550	8290	8.92
		0.9	7140	7690	7.15
		1.5	5340	4740	12.65
		2.1	4000	3470	15.27
		2.7	3000	2765	8.49
		3.3	2000	1737	15.14
		평균			11.27

오차가 발생하는 원인을 고찰하여 볼 때 실물대 모델과 시뮬레이션 해석모델의 반사율 및 표면거칠기, 천공조건과의 차이와 프로그램을 이용한 3D 모델링의 단순화로 인해 오차가 발생한 것으로 판단된다. 이상의 시뮬레이션에 의한 실험데이터의 보정결과 평균 7.8%~15.6%의 오차율을 나타내고 있지만 그래프에 나타난 것과 같이 실측결과

와 계산결과간의 형상이 매우 유사한 것으로 나타났다.

따라서 Lightscape를 이용하여 광선반의 채광 성능에 영향을 미치는 변수들에 대한 다양한 분석을 할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결론

광선반의 채광성능분석을 위한 실험 및 시뮬레이션 분석결과는 다음과 같다.

1. 광선반의 설치유무에 따른 실험결과 담천공 조건하에서는 광선반의 설치효과는 거의 없는 것으로 나타났지만, 청천공의 경우 광선반에 의해서 창측조도의 감소 및 내측조도의 증가로 인해 실내의 최대/최소조도의 비가 약 50%이상 줄어드는 것으로 나타났다.
2. 광선반의 설치시 시간별로 12시경에 가장 많은 빛이 실내로 들어오는 것으로 나타났지만, 최대/최소조도비와 주광률(DF)은 약 3.5배정도 감소하는 것으로 나타났다.
3. 광선반의 설치각도에 따른 실험결과 외측면 광선반의 설치각이 0°(수평)인 경우보다 20°상향조정된 광선반에 의해 내측로 유입되는 빛의 양이 많아져 실내의 최대/최소조도비가 감소하고 주광률은 증가하는 것으로 나타났다.
4. Lightscape를 이용한 시뮬레이션 결과 창측에서 오차율이 7.8%~15.27%의 오차율을 나타내고 있지만, 광선반의 설치효과 등이 매우 유사하게 묘사되고 있는 것으로 나타났다. 이 결과 다양한 변수를 적용한 성능분석이 불가능했던 축소모형 실험의 문제점을 해결할 수 있을 것으로 사료되며, 시뮬레이션을 이용한 변수분석 통해 본 연구의 최종 목적인 광선반의 최적설계안을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김강수, 조동우, 홍봉재, 이승언, "조명에너지 절약을 위한 자연채광 성능 평가에 관한 연구", 대한건축학회학술발표논문집 제8권 2호, 1988. 10.
2. 이진숙, 한상필 "실내상시 보조 인공조명(PSALI)을 도입한 실내의 쾌적환경 조성을 위한 실험적 연구" 대한건축학회 논문집 제18권 5호 통권 163호 PP.109-116 2002.5
3. 김정태, 정유근, 문기훈, "채광성능 평가용 시뮬레이션 프로그램의 비교분석", 한국태양에너지학회 논문집, Vol23, No.1, 2003.
4. 문기훈, 김정태, "자연채광 성능의 가시화도구로서 Lightscape의 유용성 평가" 한국실내디자인학회 논문집, 37호, 2003. 4(ISSN 1229-7992)