

창호일체형 광선반 시스템 채광성능 평가

Daylighting Performance Evaluation of window Integrated Light Shelf System

정 유 근*

Chung, Yu-Gun

Abstract

The lightshelf system, a horizontal shading and light redirect device, should improve the visual environment by optimal light distributions and intense illumination levels of a interior. This study aims to evaluate the daylighting performance of window integrated lightshelf systems by computer simulations. For the study, the standard office plan is analyzed through the field surveys. And then, the various lightshelf types attached window systems are picked out from existed research results. The max, minimum and average illuminance levels of interiors and illuminance distributions are evaluated by Lightscape 3.2 programs based on the installing height, shape type and moving angle of lightshelves. As results, it is suggested that the optimum lightshelf shapes are the height 1.8m and the width 600mm. Also, in mixed lightshelf, the outside width 600mm, inside width 400 are efficient on indoor daylighting performance.

키워드: 자연채광, 광선반, 시뮬레이션, 실내조도

Keywords : daylighting, lightshelf, computer simulation, illuminance levels

1. 서 론

자연채광은 실내 시환경을 향상하며, 조명에너지를 절약할 수 있는 친환경기술로 선진국을 중심으로 활발히 활용되고 있으며 국내에서도 다양한 채광시스템에 대한 연구가 수행되고 있다. 이러한 자연채광 시스템 중 광선반 시스템은 (lightshelf daylighting system) 직사일광 차단 및 실내조도를 향상시킬 수 있는 유용성이 높은 시스템으로 평가되고 있다.

광선반시스템과 관련되어 국외의 연구로는 IEA Task 21(1998)을 중심으로 다양한 연구가 진행되고 있으며 최근 Michael Larr(2001), Hiroshi Tamura(2002) 그리고 Thomas C. Ochoa(2004) 등의 연구가 보고되고 있다. 국내의 경우에는 국가지정연구실인 채광·조명시스템연구센터(LAEL)을 중심으로 컴퓨터 시뮬레이션과, 축소 및 실물 모형을 이용하여 광선반시스템을 포함한 다양한 채광시스템을 개발하기 위한 연구가 수행되고 있다.

광선반 시스템은 시스템 설치에 따른 개구부의 개방감 감소나 외부 입면계획의 어려움 등 다양한 문제점을 최소화하기 위하여 광선반 설치 위치, 형태 및 재질과 시공방법 등 다양한 고려가 수행되어야 한다. 본 연구에서는 사무소 건물을 대상으로 효과적인 광선반 설치위치 및 형상을 제안하고자 한다.

이를 위하여, 먼저 건축잡지 등 문헌고찰을 통하여 사무소 건물의 기본 계획을 제안하였다. 또한, 기존 연구결과를 분석하여 연구에 적용할 수 있는 다양한 광선반의

형태 및 설치 위치 등을 설정하였고 이를 바탕으로 채광성능 평가용 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다.

컴퓨터 시뮬레이션을 위해서는 Lightscape 3.2 프로그램을 활용하였다. 이 때, 광선반의 형태(실내, 외형 및 혼합형) 및 폭광선반 반사율, 설치높이 등 변수에 따라 실시하였다. 실시된 시뮬레이션 결과를 이용하여 실내의 최대, 최소 및 평균 조도 및 조도분포 등을 평가하였다.

2. 광선반 채광성능 평가조건

2.1 평가용 사무소

창호일체형 광선반 채광시스템의 성능평가용 사무소는 건축잡지 등 문헌고찰을 통하여 선정하였다. 현재 시공되어진 중규모 사무소를 대상으로 일반적인 중규모 사무소의 형태자료 및 도면을 분석하여 선정된 사무소 건물의 기본 형상은 다음과 같다.¹⁾

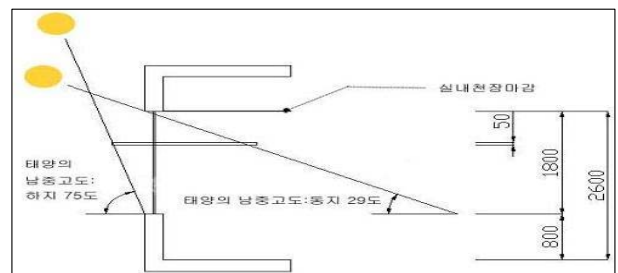


그림 1. 평가대상 사무소 및 광선반(단면)

* 충주대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

1) Areum Architecture/Interior, 시공도면

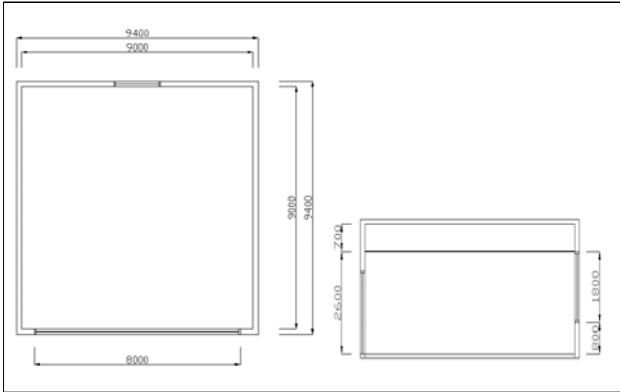


그림 2. 평가대상 사무소 평면, 단면 및 입면

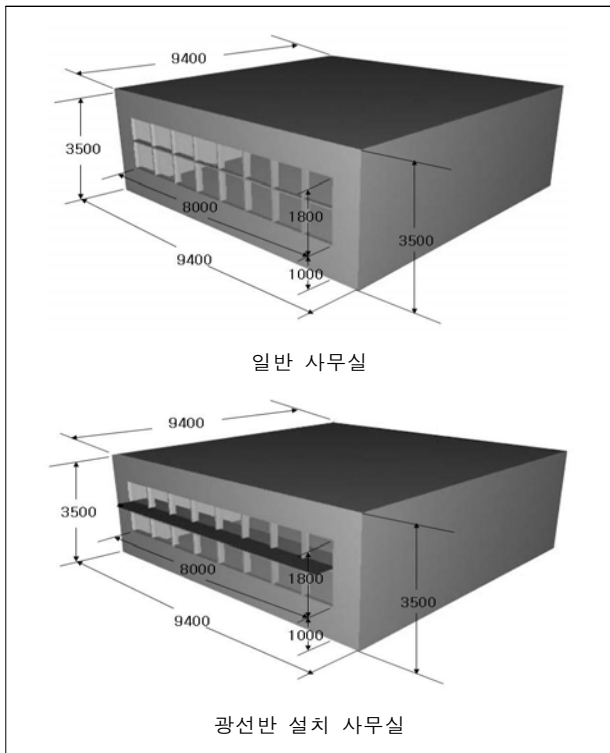


그림 3. 광선반 형태 및 성능평가용 사무실

광선반의 채광성능 시뮬레이션 평가를 위하여 선정된 사무실의 안목치수는 가로 9,000(mm), 세로 9,000(mm) 그리고 천장고 2,600(mm)으로 설정하였다. 사무소 남측 전면에는 가로 8,000(mm), 세로 1,800(mm)의 개구부를 바닥 면으로부터 800 (mm)의 높이에 계획하였다.

선정된 사무소 건물의 실내 마감재 반사율은 천장(백색 페인트 마감) 85%, 벽(백색 페인트 마감) 85%, 바닥(콘크리트 마감) 64%로 설정하였으며 각각의 반사율은 실제 마감재의 반사율을 적용하였다. 광선반은 표면의 재질에 따라 다양한 반사율과 채광특성을 가진다.

본 연구에서는 광선반이 창호에 부착되어 일체화 시공한다는 가정 하에서 진행되었기 때문에 광선반 위에 고반사율의 반사재료를 부착하는 방식으로 시뮬레이션 작업을 하였다. 반사재료는 현재 3M사에서 판매되고 있는 SILVERLUX ss-95P(반사율 95%)를 적용하였다.

표 1. 페인트의 색상에 따른 실내 마감재 반사율²⁾

색 상	반 사 율
White	85 (%)
Pale yellow	82 (%)
Bright yellow	70 (%)
Pale orange	54 (%)
Pale blue	45 (%)
Bright orange	28 (%)
Bright red	17 (%)
Dark green	9 (%)
Black	5 (%)

표 2. 반사재료에 따른 반사율³⁾

반사재료	반사율
은 (전기도금)	96 %
3M Film / SILVERLUX ss-95P	95 %
박판유리 (5mm) / 은	94 %
보통유리 (1mm) / 은	93 %
발광 알루미늄아이트 처리 AL	86 %
아크릴 수지 (3mm) / AL.종착	86 %
보통유리 (5mm) / 은	73 %
Crome (전기도금)	62 %
SUS 강 (연마)	53 %

2.2 광선반 형태 선정

광선반 채광시스템의 채광성능에 영향을 주는 요소로서 광선반의 폭, 설치높이, 표면 반사율 그리고 실내 마감재의 반사율 등이 있다. 본 연구에서는 이들 변수들 중에서 광선반의 설치 높이와 폭, 광선반의 형태 및 광선반의 유동각도 등을 변수로 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다.

광선반의 크기는 평가대상 지역의 위치(37.5°, 경도 128°)를 고려할 때, 동지(태양 남중고도 29°)와 하지(태양 남중고도75°)의 직사일광을 적절히 차단할 수 있는 깊이로 내부 광선반은 최소 600(mm) 이상 그리고 외부 광선반은 최소 300(mm) 이상이 필요하다. 그러므로

설정된 광선반의 형태는 내부 광선반은 폭 600(mm)에서부터 100(mm)의 단위로 늘려가며 900(mm)의 길이까지 설정하였다. 외부 광선반의 폭은 400(mm)에서부터 100(mm)의 단위로 늘려가며 600(mm)의 길이까지 설정하였다. 또한, 내외부가 혼합된 혼합 광선반의 폭은 내측의 폭과 외측의 폭을 각각 900 과 600(mm)로 설정하여 시뮬레이션을 실시하였다.

광선반 시스템의 설치위치는 재실자의 개방감 유지와 글레어의 유발을 막기 위해 눈높이 이상의 위치에 설치하였다. 본 연구에서는 광선반의 설치높이는 바닥 면으로부터 1800(mm)에서부터 100(mm)씩 높여가며 2000(mm)까지 설정하여 시뮬레이션을 실시하였다. 외부 광선반의 유동각도는 정남의 태양 고도를 기준으로 15°의 간격으로 유동각도를 부여하여 시뮬레이션을 실시하였다.

²⁾ 신현구, “광선반의 채광성능 평가연구”, 경희대 석사, 2003.

³⁾ 김창국, “새로운 건축설계·제도”, 기문당, pp.32. 2002

표 3. 시뮬레이션 변수의 설정

변수	내 용	
광선반 돌출길이	내부형	600~900mm (100mm간격)
	외부형	400~600mm (100mm간격)
	혼합형	1000~1500mm (100mm간격)
광선반 설치높이	1800~2000mm (100mm간격)	
광선반 반사율	95%	
천공상태 (계절, 외부조도)	청천공(하지 83,570lx, 동지 13,895 lx, 춘/추분 69,800 lx) ⁴⁾	
외부 광선반의 유동각도	동지	0°, 15°
	춘/추분	0°, 15°, 30°, 45°
	하지	0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°

2.3 Lightscape 프로그램

Lightscape 프로그램은 “Lightscape Technology, Inc”에서 개발되어 Ver. 3.1.1 까지 발표되었고, Autodesk사에 흡수된 후 1999년 Ver. 3.2가 발표되었다. 현재 Autodesk사의 자회사인 Canada 소재의 “Discreet Logic Inc.”에서 3D Studio MAX와 3D Studio VIZ와 함께 판매된다.⁵⁾

Lightscape 프로그램은 광속전달과 광선추적을 함께 사용하여 3차원 이미지를 만들 수 있는 가시화 도구이다. 입출력 기능이 다양하며 복잡한 형태의 재질을 이미지 파일을 이용하여 현실적인 표현이 가능하고 화면상에서 연속적 표현이 가능하다. Window환경에서 실행되며 빛 환경의 정량적, 정성적 평가가 동시에 가능하다.

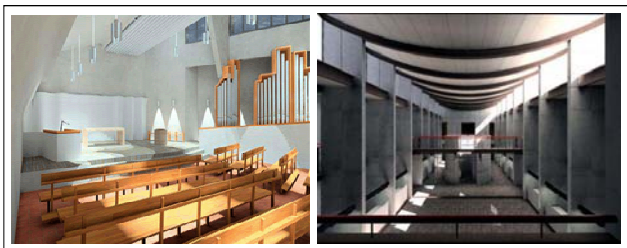


그림 4. Lightscape 실행 사례

Lightscape 프로그램은 광선추적과 광속전달 연산의 혼합으로 좀 더 빠르고 사실적인 광역 조명의 시뮬레이션이 가능하다. 그러므로 인공조명과 자연광의 표현을 정확한 데이터를 기반으로 평가할 수 있다. 그러나 모델링 지원이 부족하여 다른 플랫폼의 3D Tool로 대상물을 가지고 와야 하는 단점이 있다.

Lightscape 프로그램에서 사용하는 광선추적(Ray Tracing)과 광속전달(Radiosity), 두 개의 알고리즘은 빛의 전달을 정확하게 계산할 수 있기 때문에 정밀한 채광평가가 가능하다. 또한, 날짜와 시간 위치지정에 의하여 간단하게 특정 지역의 자연채광 효과를 평가할 수 있다.

⁴⁾ 송규동, 한승민, “건물 자연채광설계를 위한 외부조도 및 천공 휘도 데이터베이스 구축”, 한국생활환경학회지, 1999

⁵⁾ 문기훈, “자연채광성능 도구로 lightscape의 효율성 연구”, 경희대 박사, 2003

3. 광선반 채광시스템 성능평가

3.1 광선반 설치 높이에 따른 채광성능

광선반의 설치높이는 개방감 악화를 최소화하기 위해 선 자세에서 채실자의 눈높이인 1,600(mm)⁶⁾ 이상으로 1,800(mm)와 2,000(mm)로 1나누어 시뮬레이션을 실시하였다. 이 때, 광선반의 폭은 실 내부가 600(mm)이고 외부는 400(mm)인 혼합형 광선반 시스템으로 설정하였다.

광선반을 설치하지 않은 사무실의 경우에 실내 채광조도를 만족하는 안측깊이는 창가에서 4(m)로 가장 깊은 것으로 분석되었다. 실내 조도분포는 직사일광이 유입되는 창주변의 최고조도는 83,856(lx)로 실 안쪽의 최저조도는 49(lx) 그리고 실 전체의 평균조도는 9,668.(lx)로 분석되었다.

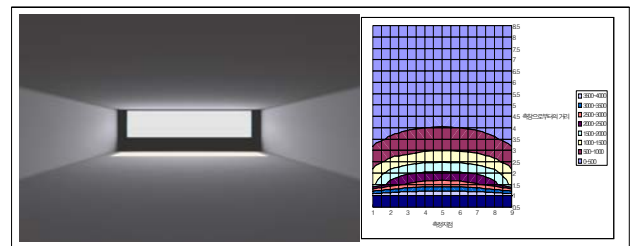


그림 5. 사무실 채광성능(광선반 미 설치,)

표 4. 광선반 미설치시 채광성능(하지)

최고조도 (lx)	최저조도 (lx)	평균조도 (lx)	기준조도 (lx)	균제도	주광만족 깊이
73856	49	9668	500	0.12	4m

광선반이 바닥면으로 부터 1,800(mm)의 높이의 경우에는 실내 채광조도 만족깊이는 2.4(m)로 분석되었고 실내 최고조도는 2,799(lx), 최저조도 42(lx) 그리고 평균조도 453(lx)로 분석되었다. 광선반 높이 2,000(mm)의 경우에는 채광조도 만족깊이 2.5(m)로 실 평균조도는 5,880(lx)로 분석되었다.

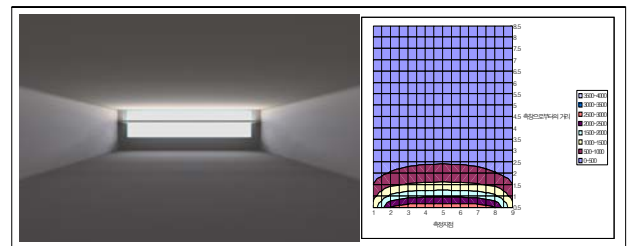


그림 6.사무실 채광성능(광선반 높이 1.8m)

표 5. 광선반 설치 높이에 따른 채광성능(하지)

높이	최고조도 (lx)	최저조도 (lx)	평균조도 (lx)	기준조도 (lx)	균제도	주광만족 깊이
1.8(m)	2799	42	453	500	0.16	2.4(m)
2.0(m)	51,447	44	5,880	500	0.11	2.5(m)

⁶⁾ 김창국, “새로운 건축설계 · 제도”, 기문당, pp.32. 2002

3.2. 광선반 형태에 따른 채광성능

광선반이 건물 내측에 설치되는 내부 광선반은 동지를 기준으로 건물 외측에 설치되는 외부 광선반은 하지를 기준으로 시뮬레이션을 실시하였다. 그리고 내·외부에 설치되는 혼합형 광선반의 경우에는 사무소 건물의 실내 채광성능을 동지와 하지로 나누어 평가하였다.

내부 광선반의 설치에 따른 실내채광성능은 동지의 정오를 기준으로 광선반 폭 600(mm)~900(mm)까지 100(mm)간격으로 평가하였다(표 6). 실내 채광조도의 만족깊이, 평균조도가 그리고 균제도 모두 유사하게 나타나 동지를 기준으로 내부 광선반의 형태에 따른 차이는 크지 않은 것으로 분석되었다.

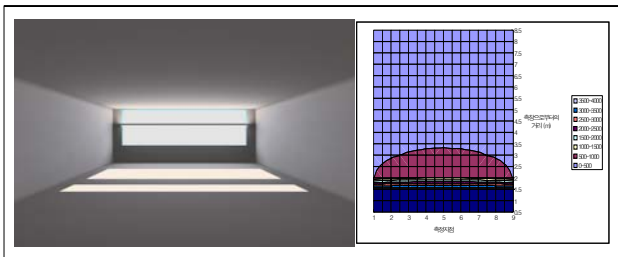


그림 7. 내부 광선반 600(mm) (동지, 외부조도 38,950 lx)

표 6. 내부 광선반 폭에 따른 채광성능(동지)

광선반 폭(mm)	최고조도 (lx)	최저조도 (lx)	평균조도 (lx)	기준조도 (lx)	균제도	주광만족 깊이
600	22,873	41	4,971	500	0.15	3.3(m)
700	22,949	41	4,964	500	0.15	3.3(m)
800	23,059	42	4,970	500	0.15	3.3(m)
900	23,112	42	4,974	500	0.15	3.0(m)

외부 광선반은 최소깊이 400(mm)부터 100(mm)의 간격으로 600(mm)까지 변화시키며 하지를 기준으로 시뮬레이션을 실시하였다. 분석결과, 모든 경우에서 작업면 기준조도인 500(lx)를 만족시키는 채광깊이는 2.9(m)로 나타났다. 또한, 균제도는 외부 광선반 폭 600(mm)에서 가장 크게 나타났고 실내 평균조도는 400(mm)에서 가장 큰 것으로 분석되었다.

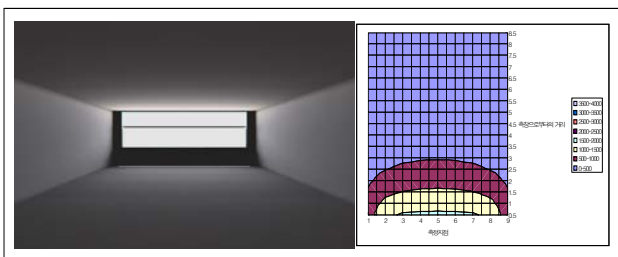


그림 8. 외부 광선반 600(mm) (하지, 외부조도 83,570)

표 7. 외부 광선반 폭에 따른 채광성능(하지)

광선반 폭(mm)	최고조도 (lx)	최저조도 (lx)	평균조도 (lx)	기준조도 (lx)	균제도	주광만족 깊이
400	3,883	16	401	500	0.21	2.9(m)
500	3,755	18	388	500	0.22	2.9(m)
600	3,554	32	366	500	0.24	2.9(m)

혼합형 광선반은 외부 길이 400(mm)와 600(mm) 그리고 내부 길이 600(mm)와 900(mm)로 설정하여 동지와 하지 정오의 채광성능을 평가하였다. 동지에 광선반 길이(내부길이×외부길이)가 600×400(mm)의 실내 채광조도는 최고 51,504(lx), 최저 28(lx) 그리고 평균 5,903(lx)로 분석되었다.

광선반의 내외부 길이가 600×600(mm)의 경우에는 최고 채광조도는 2,284(lx), 최저 채광조도는 27(lx), 그리고 평균 채광조도는 420(lx)로 분석되었다. 분석결과 동지에 내부 광선반의 폭이 600(mm)인 경우에 외부 광선반의 폭이 500(mm)일 때 가장 채광성능이 우수한 것으로 분석되었다.

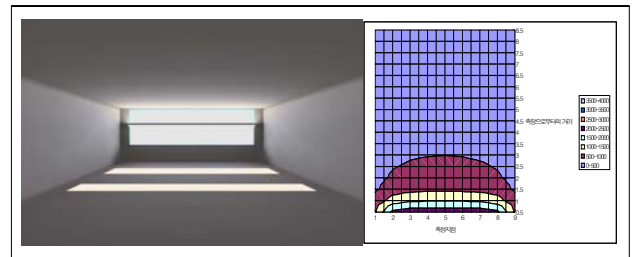


그림 9. 혼합형 광선반 600X600(mm) (동지)

표 8. 혼합형 광선반 폭에 따른 채광성능(동지)

광선반 폭(mm)	최고조도 (lx)	최저조도 (lx)	평균조도 (lx)	기준조도 (lx)	균제도	주광만족 깊이
600X400	21,504	29	4,903	500	0.11	3.2(m)
600X500	21,218	41	4,874	500	0.11	3.2(m)
600X600	2,284	27	420	500	0.18	3.0(m)

동지에 광선반 길이(내부길이×외부길이)가 900×400(mm)의 실내 채광조도는 최고 51,714(lx), 최저 41(lx) 그리고 평균 5,900(lx)로 분석되었다. 광선반의 길이가 900×600(mm)의 경우에는 최고 채광조도는 2,799(lx), 최저 채광조도는 41(lx), 그리고 평균 채광조도는 453(lx)로 분석되었다.

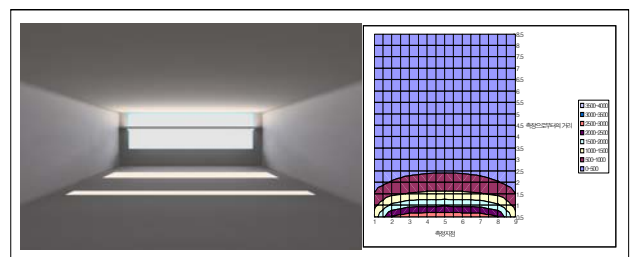


그림 10. 혼합형 광선반 900X600(mm) 채광성능(동지)

표 9. 혼합형 광선반 폭에 따른 채광성능(동지)

광선반 폭(mm)	최고조도 (lx)	최저조도 (lx)	평균조도 (lx)	기준조도 (lx)	균제도	주광만족 깊이
900X400	21,714	41	4,900	500	0.11	2.5(m)
900X500	21,454	41	4,877	500	0.11	2.4(m)
900X600	2,799	41	453	500	0.16	2.4(m)

하지에 광선반 길이(내부길이×외부길이)가 600×400(mm)의 실내 채광조도는 최고 1,958(lx), 최저 13(lx) 그리고 평균

316(lx)로 분석되었다. 광선반의 내외부 길이가 600×600(mm)의 경우에는 최고 채광조도는 1,423(lx), 최저 채광조도는 13(lx), 그리고 평균 채광조도는 260(lx)로 분석되었다.

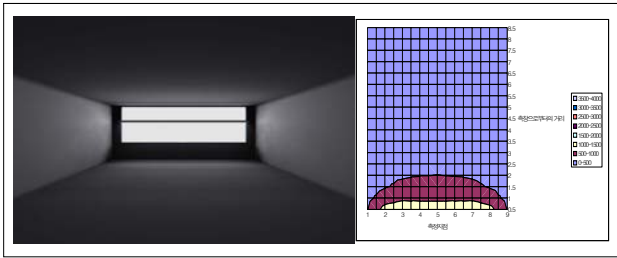


그림 11. 혼합형 광선반 600X600(mm) 채광성능(하지)

표 10. 혼합형 광선반 폭에 따른 채광성능(하지)

광선반 폭(mm)	최고조도 (lx)	최저조도 (lx)	평균조도 (lx)	기준조도 (lx)	균제도	주광만족 깊이
600X400	1,958	13	316	500	0.16	2.1(m)
600X500	1,780	24	293	500	0.16	2.0(m)
600X600	1,423	13	260	500	0.18	2.0(m)

하지에 광선반 길이(내부길이×외부길이)가 900×400(mm)의 실내 채광조도는 최고 2,089(lx), 최저 24(lx) 그리고 평균 312(lx)로 분석되었다. 광선반의 길이가 900×600(mm)의 경우에는 최고 채광조도는 1,744(lx), 최저 채광조도는 24(lx), 그리고 평균 채광조도는 283(lx)로 분석되었다.

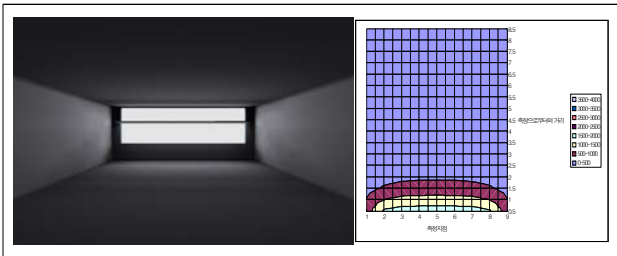


그림 12. 혼합형 광선반 900X600(mm) 채광성능(하지)

표 11. 혼합형 광선반 폭에 따른 채광성능(하지)

광선반 폭(mm)	최고조도 (lx)	최저조도 (lx)	평균조도 (lx)	기준조도 (lx)	균제도	주광만족 깊이
900X400	2,089	24	314	500	0.15	1.9(m)
900X500	1,927	24	299	500	0.16	1.9(m)
900X600	1,744	24	283	500	0.16	1.9(m)

3.3 외부 광선반 유동각도에 따른 채광성능

혼합형 광선반(내부 길이×외부 길이) 600(mm)× 600(mm)인 경우에 외부 광선반을 수평면을 기준으로 15° 간격으로 변화시키며 채광성능을 평가한 결과는 다음과 같다.

표 12. 외부 광선반의 유동각

동지	춘/추분	하지
0°, 15°	0°, 15°, 30°, 45°	0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°

동지에 외부 광선반의 유동각도가 0°의 경우에 최고 채광조도는 2,284(x)로 최저 채광조도는 27(lx) 그리고 평균 채광조도는 420(lx)로 분석되었다. 외부 광선반의 유동각도 15°의 경우에는 최고 채광조도 50,306(lx), 최저 채광조도 43(lx) 그리고 평균 채광조도 9,109(lx)로 분석되었다.



그림 13. 외부 광선반 각도 0° (동지)

표 13. 외부 광선반 유동각도에 따른 채광성능(동지)

유동각도 (o)	최고조도 (lx)	최저조도 (lx)	평균조도 (lx)	기준조도 (lx)	균제도	주광만족 깊이
0	2,284	27	420	500	0.18	3.0(m)
15	20,306	42	7,109	500	0.18	2.0(m)

춘추분에 외부 광선반의 유동각도가 0°의 경우에 최고 채광조도는 1,966(x)로 최저 채광조도는 18(lx) 그리고 평균 채광조도는 364(lx)로 분석되었다. 외부 광선반의 유동각도 45°의 경우에는 최고 채광조도 2,547(lx), 최저 채광조도 31(lx) 그리고 평균 채광조도 417(lx)로 분석되었다.



그림 14. 외부 광선반 각도 15° (춘추분)

표 14. 외부 광선반 유동각도에 따른 채광성능(춘추분)

유동각도 (o)	최고조도 (lx)	최저조도 (lx)	평균조도 (lx)	기준조도 (lx)	균제도	주광만족 깊이
0	1,966	18	364	500	0.19	2.6(m)
15	1,675	36	350	500	0.21	3.0(m)
30	2,081	31	388	500	0.19	3.0(m)
45	2,547	31	417	500	0.16	3.0(m)

하지에 외부 광선반의 유동각도가 0°의 경우에 최고 채광조도는 1,423(x)로 최저 채광조도는 13(lx) 그리고 평균 채광조도는 260(lx)로 분석되었고 채광조도 만족깊이는 2.0(m)로 분석되었다. 외부 광선반의 유동각도 75°의 경우에는 최고 채광조도 2,075(lx), 최저 채광조도 10(lx) 그리고 평균 채광조도 280(lx)로 그리고 채광만족 깊이는 2.0(m)로 분석되었다.



그림 15. 외부 광선반 각도 15° (하지)

표 15. 외부 광선반 유동각도에 따른 채광성능(하지)

유동각도 (α)	최고조도 (lx)	최저조도 (lx)	평균조도 (lx)	기준조도 (lx)	균계도	주광면적 깊이
0	1,423	13	260	500	0.18	2.0(m)
15	1,213	23	253	500	0.21	1.7(m)
30	2,081	31	388	500	0.19	3.0(m)
45	2,547	31	417	500	0.16	2.3(m)
60	1,994	21	293	500	0.15	2.1(m)
75	2,075	10	280	500	0.14	0.2(m)

4. 결론

본 연구에서는 창호와 일체화된 광선반의 채광성능을 광선반의 설치 높이, 형태 및 외부 광선반의 유동각도에 따라 분석하였다. 분석결과, 광선반의 설치 높이에 따른 실내에서 외부로 향한 개방감은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 설치 높이에 따른 실내의 조도분포는 바닥 면으로부터 광선반의 설치 높이가 1.8m인 경우 가장 효과적인 것으로 분석되었다.

계절에 따른 광선반 채광시스템의 채광성능은 가구의 배치 및 재실자의 이용을 모두 고려할 때, 내부형 광선반의 폭이 600(mm)일 때 가장 효과적인 것으로 분석되었다. 이는 내부 광선반의 길이 90(mm)에서 최적의 채광성능을 보이고 있다는 기존의 연구결과(신현구, 2003)와 차이가 있으나 기존 연구는 실내공간의 활용성 및 개방감 등을 고려하지 않고 단순히 채광성능만을 평가한 결과이기 때문이라 사료된다.

혼합형 광선반의 경우에는 태양의 고도가 높은 하지와, 태양의 고도가 낮은 동지 모두에 적합하며, 외부 광선반 폭 600(mm), 내부 광선반 폭이 400(mm)일 때 가장 효과적인 것으로 분석되었다. 기존의 연구에서는 외부 광선반 1,200(mm), 내부광선반 900(mm)를 최적의 형태로 제안하였으나 이 또한 실내의 개방감 감소 등을 고려치 않은 결과로 사료된다.

혼합형 광선반의 외부 광선반의 유동각도는 동지에는 유동각도를 주지 않고 수평으로 설치되었을 때 그 효과적이며, 춘/추분의 경우와 하지의 경우에는 외부 광선반이 15°의 유동각도를 주는 것이 효과적인 것으로 분석되었다.

본 연구결과는 건축계획단계에서 건축가가 사무소 건물에 적절한 광선반을 선택하기 위한 기초자료로 활용될 수 있으리라 사료된다. 그러나 연구가 시뮬레이션에 의존하여 실시되어 연구결과에 대한 검증과 보다 다양한 광선반 조건에 따른 채광성능을 평가하는 연구가 지속적으로 필요하다고 사료된다.

참고문헌

1. 김기철, “경사형 광선반 채광시스템의 개발 및 채광성능평가에 관한 연구”, 경희대 대학원, 석사학위논문, 2004
2. 김봉근, 김정태, “광선반 유형에 따른 실내 채광특성에 관한 축소모형 실험적 연구”, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 제5권 제2호(통권9호), 2005. 11. pp 43-50
3. 김정태, 신현구, 김곤 외 “광반사를 이용한 광선반 채광시스템의 기본 형상 설계 및 성능평가에 관한 연구”, 대한건축학회 계획계 19권 3호 (통권173호) 2003. 3. pp. 177-184
4. 김정태, 신화영, “Mock-up을 이용한 일반창호 및 경사형 광선반 창호의 채광성능에 관한 비교 실험”, 한국생태환경건축학회논문집, Vol. 6, No 2, 2006. 06, pp 67-74
5. 김창국, “새로운 건축설계·제도”, 기문당, pp.32. 2002
6. 문기훈, “자연채광 성능평가 도구로서 LIGHTSCAPE의 효용성 연구” 경희대 대학원, 박사학위논문, 2003
7. 백승천, 김정태, “광선반 채광시스템의 성능에 관한 Mock-up 모델실험”, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 통권5호, 2003. 11. pp 103-108
8. 신현구, “광선반의 채광성능평가에 관한 연구”, 경희대 대학원, 석사학위논문, 2003
9. 신화영, 안현태, 김정태, “혼합형 채광조절장치가 실내공간의 휘도분포에 미치는 영향에 관한 Mockup 실험평가”, 한국생태환경건축학회 논문집, Vol. 7, No 1, 2007. 02, pp 65-72
10. 조일식, “광선반을 도입한 실내공간의 주광해석에 관한 연구”, 충남대 대학원, 박사학위논문, 2004
11. 최봉철, “다양한 천공조건에 대한 광선반 시스템의 성능”, 한양대 대학원, 석사학위논문, 2003
12. 허은진, “Lightscape를 이용한 광선반의 폭 및 각도 변화에 따른 채광 성능 평가”, 부경대 대학원, 석사학위논문, 2005
13. Alfonso Soler and Pilar Oteiza, “Light Shelf Performance in Madrid, Spain”, Building and Environment, Vol. 32, No. 2, 1997. 3, pp. 87-93
14. Danny H. W. Li and Joseph C. Lam, “Evaluation of lighting performance in office buildings with daylighting controls”, Energy and buildings, Vol.33, No. 8, 2001. 10, pp. 793.803