



반사율에 따른 광선반 채광 성능평가 연구 - 주거공간을 중심으로 -

*Daylighting Performance Evaluation of Light-shelf according to the Reflectivity
- Focused on the Residing space -*

허도연* · 이행우** · 서장후*** · 김용성****

Doyeon Heo* · Heangwoo Lee** · Janghoo Seo*** · Yongseong Kim****

* Dept. of Architectural Design, Graduate School of Techno Design, Kookmin University., South Korea (o_ool@naver.com)

** Dept. of Architectural Design, Graduate School of Techno Design, Kookmin University., South Korea (moonup2001@nate.com)

*** Dept. of Architectural Design, Graduate School of Techno Design, Kookmin University., South Korea (seojh@kookmin.ac.kr)

**** Corresponding author, Dept. of Architectural Design, Graduate School of Techno Design, Kookmin University., South Korea (yongkim@kookmin.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: Due to recent increase on energy consumption for light in building, many studies to mitigate this issue have been conducted. Various researches have been carried out to suggest light shelf as one of the solutions, but researches for its reflectivity is very few. In fact, existing research on light shelf shows that utilizing more than 90% of high-illumination materials causes imbalance of glare and illuminance. **Method:** Therefore this research aimed to evaluate the performance of light shelves depending on reflectivity and to identify proper solution through test-bed. **Result:** The results are following: 1) Increased reflectivity generally contributed to increase of indoor illuminance but degrade uniformity factor related with indoor comfort of light environment. 2) The 0°-fixed light shelf with 75% of reflectivity and width of 300mm and 40mm appeared to consume more energy than other shelves. Therefore, it is analyzed as unsuitable. 3) This research was conducted by calculating appropriate angle of light shelf around winter and summer solstices and vernal/autumnal equinox. Based on this, performance evaluation was undertaken depending on reflectivity of movable light shelf, which is activated by external sources and can be applied with lower reflectivity than fixed shelf. However, one exception was a movable shelf with width of 600mm that increased light energy consumption when 75% of reflectivity was applied. 4) Performance evaluation of fixed and movable light shelf showed that the shelf with 80% of reflectivity came up with suitable results, but 75% of reflectivity may be applied depending on the width and angle of the shelf. This research is meaningful in that estimation of appropriate reflectivity of light shelf can resolve the glare problem and improve light environment, and further research would be desirable under more diverse conditions to identify proper solution.

KEYWORD

광선반
반사율
성능평가
적정규격

Light-shelf
Reflectivity
Performance Evaluation
Appropriate Dimension

ACCEPTANCE INFO

Received April 14, 2015

Final revision received June 20, 2015

Accepted June 22, 2015

© 2015 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

2010년 LUTRON Lighting Control System Seminar의 건물에 서의 에너지 소비형태 자료에 의하면 미국과 한국은 각각 조명에 너지 사용량은 건물부분 에너지 소비량의 28%, 22%로 높게 나타나고 있으며, 조명에너지 사용량은 점차 증가할 것이라고 보고하고 있다. 이러한 조명에너지 문제에 대한 해결책을 제시하기 위하여 다양한 연구가 진행되고 있으며, 이러한 다양한 연구 중 자연 채광시스템은 외부 자연광을 실내로 끌어들이 질적으로 우수한 빛환경을 조성하는 시스템으로 그 효율을 인정받고 있다. 자연채 광시스템의 하나인 광선반은 반사를 통하여 외부 자연광을 실내 깊숙이 유입하여 에너지 저감 및 쾌적한 빛환경을 제공한다는 측

면에서 그 유효성을 인정받아서 다양한 연구와 적용이 이루어지고 있다. 그러나 광선반 관련 기존 연구 및 설계 시 광선반의 채광 성능을 높이기 위하여 고휘도의 반사재질을 광선반 반사판으로 적용하고 있으며, 이는 현휘 및 조도 불균형을 야기하고 있다¹⁾. 이러한 요소는 광선반 관련 분야의 연구 발전에 걸림돌이 되고 있다고 판단한다. 광선반 반사율에 따른 성능 및 적정안 도출은 선행되어함에도 불구하고 연구가 부재한 상태이다.

이에 본 연구는 광선반의 반사판의 반사율에 따른 성능평가를 실시하여 광선반의 적정 반사율 및 특성을 도출, 분석하여 광선반 설계 시 기초자료로 활용을 목적으로 한다.

1.2. 연구의 방법 및 절차

본 연구는 광선반 반사율에 따른 성능평가 및 적정안 도출을 위

하여 <그림1>에서 나타나듯이 다음과 같은 절차에 의거하여 진행하였다.

첫 번째, 광선반의 개념 및 광선반 관련 연구에서 다루고 있는 반사율을 검토하였으며, 이후 성능평가 간 조명제어를 위한 실내 조도 기준을 고찰하였다. 두 번째, 고찰된 내용을 근거로 광선반 반사율 설정 및 성능평가를 위한 테스트베드 및 환경 설정을 하였다. 세 번째, 0° 고정형 광선반과 가동형 광선반의 반사율에 따른 성능평가를 실시하며, 그에 따른 광선반의 적정 반사율 도출과 분석을 진행하였다.

본 연구는 광선반 성능평가를 위한 방법으로 실제 조명과 연동하여 조명 에너지 사용량을 산출하였으며, 이는 광선반 성능평가를 위한 중요한 지표라고 사료된다.

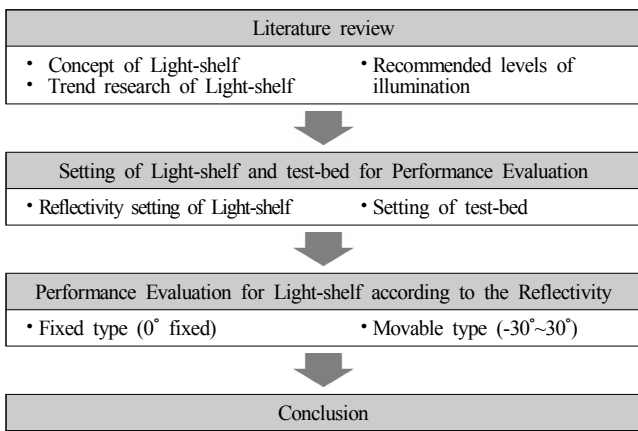


Fig. 1 Flowchart of study

2. 광선반 연구 동향 및 조도기준 고찰

2.1. 광선반 개념 및 연구 고찰

광선반은 <그림2>에서 나타나듯이 외부 자연광을 반사를 통하여 실내 깊숙이 유입시키는 채광시스템이며, 광선반에 의한 빛의 유입은 광선반의 반사판, 실내공간의 천장 순에 의거하여 반사가 이루어진다. 이에 광선반 반사판의 반사율은 광선반 성능을 좌우하는 중요한 지표이다. 또한, 광선반의 종류는 고정된 타입의 채래형 광선반과 태양의 고도 및 방위각에 대응하기 위한 가동형 광선반으로 분류2)된다.

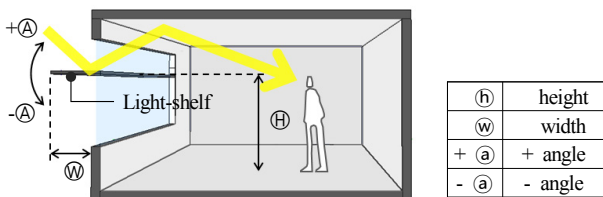


Fig. 2. Concept and variable of light shelf

2) 김기철, 경사형 광선반 채광시스템의 개발 및 채광성능평가에 관한 연구, 경희대학교 석사학위논문, 2004

광선반 성능평가에 관련한 기존 연구의 고찰결과 <표1>에서 나타나듯이 95~97%의 높은 고휘도 재질을 적용하고 있으며, 이러한 고휘도 재질을 적용시 채광성능 개선에는 유리할 수 있으나 현휘가 발생하여 쾌적한 빛환경을 저해할 수 있다3).

Table 1. Advance research of Light-shelf

Title of Study	Year	Reflectivity of Light-shelf(%)
Analysis and estimate the performance of lightshelf system using lightscape.	2001	95
A Study on the Computer Simulation Estimate of Light shelf Using Lightscape	2003	95
Daylighting Performance Evaluation of Lightshelf Window System by Lightscape	2004	95
Development and Performance Evaluation of a Sloped Lightshelf Daylighting System	2004	97
Scale Model Experiment for Daylighting Performance by Lightshelf Types	2005	97
A Study on the Daylighting Performance in the Office Space with Double-lightshelf	2006	97
Daylighting Performance Evaluation of window Integrated Light shelf System	2007	95
Evaluation of Daylighting Performance and Design of a Curved-Lightshelf by the Ray Tracing Method	2011	96
The daylighting and energy performance evaluation of a polycarbonate lightshelf	2013	95
A study on the assessment of energy performance of photovoltaic light shelf system	2013	95

2.2. 주거공간 내 조도기준 고찰

본 연구는 광선반의 반사율에 따른 성능평가를 위하여 실제 조명과 연동하여 성능평가를 진행하였으며, 조명의 제어를 위하여 주거공간 내 조도기준을 고찰하였다. 한국의 경우 주거공간내 조도기준으로 <표2>에서 나타나듯이 KS A 30114)으로 명시하고 있으며, 본 연구는 거실 및 안방의 작업시 표준조도인 400lx를 조명제어를 위한 조도기준으로 설정하였다. 또한 성능평가를 위한 조도 측정 높이는 작업면 기준을 근거하여 바닥으로부터 750mm 지점에 대하여 진행하였다.

Table 2. Standard illuminance of KS A 3011

Separation	Measurement location	Range of illumination[lx]			
		Min	Standard	Max	
Living room	General	Above the floor	150	200	300
	Work	40 ± 5(cm)	300	400	600
Inner room	General	Above the floor	60	100	150
	Work	80 ± 5(cm)	300	400	600
Bedroom	General	Above the floor	60	100	150
	Work	40 ± 5(cm)	150	200	300
	Work		600	1000	1500
Kitchen	General	Above the floor	60	100	150
	Work	80 ± 5(cm)	300	400	600
	Work		150	200	300
Bathroom	General	Above the floor	60	100	150
	Work	80 ± 5(cm)	150	200	300

3) 김정태, 신현구, 김근, “광반사를 이용한 광선반 채광시스템의 기본형상 설계 및 성능평가에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 계획계 19(3), 2003

4) 국가표준인증종합정보센터 www.standard.go.kr

3. 광선반 반사율 설정 및 성능평가 환경 설정

3.1. 광선반 성능평가를 위한 반사율 및 변인 설정

본 연구의 광선반의 반사율 설정은 75%에서 100%로 5%단위로 설정하였으며, 반사율 설정에 있어서 제조업체의 제품 정보⁵⁾ 및 실내면반사율계수를 근거하여 <표3>에서 나타났듯이 75%, 80%, 85%, 90%, 97%, 99%로 조정하여 진행하였다. 또한 본 연구는 성능이 우수하게 평가되고 있는 외부형 광선반⁶⁾으로 국한하였으며, 광선반의 높이는 재실자의 눈높이 및 성능이 우수하다고 평가되고 있는 1,800mm⁷⁾으로 제한하여 연구를 진행하였다.

Table 3. Reflectivity setting of Light-shelves for Performance Evaluation

Reflectivity setting of Light-shelf(%)					
75	80	85	90	97	99

Table 4. Variables of light shelf

Width	external type : 0.3m, 0.4m, 0.5m, 0.6m
Height	1800mm(from flat)
Angle range	-30° ~ 30° (10° intervals)

3.2. 광선반 성능평가를 위한 환경 설정

광선반의 반사율에 따른 광선반 성능평가를 진행한 테스트베드는 <표4>와 같이 구축하였으며, 테스트베드의 크기는 폭 4.9m, 길이 6.6m 높이 2.5m이다. 또한 광선반이 설치되는 채광창의 크기는 폭 1.9m, 높이 1.7m이며, 테스트베드의 인공태양광은 정남향에 위치시켰다.

Table 4. Overview of Test-bed

Room Size	4.9m(W) × 6.6m(D) × 2.5m(H)
Windows Size	1.9m(W) × 1.7m(H)
Directions	South aspect
Lighting	Dimming Control(8 level)
Panoramic view of Test-bed	

<그림3> 및 <그림4>는 본 연구의 성능평가를 위한 테스트베드의 평면 및 단면이며, 테스트베드의 외부에는 인공태양광조사장치를 구축하였다. 인공태양광조사장치는 램프의 광량 및 높이와 각도조절을 통해서 태양의 고도에 따른 계절 및 외부환경을 조성하였다. 성능평가를 위한 조도측정 위치는 4개소이며, 각 센서는 각각의 조명과 연동하여 표준조도 400lx를 기준으로 디밍 조명제어가 이루어지도록 하였다.

5) 3M, Construction Markets, Product Information

6) 이행우, 이시내, “사무소 건물에서 수평형 광선반을 이용한 빛환경 개선”, 한국생활환경학회지 18(1), 2011

7) 정유근, “창호일체형 광선반 시스템 채광성능 평가”, 한국생태환경건축학회 논문집 7(5), 2007

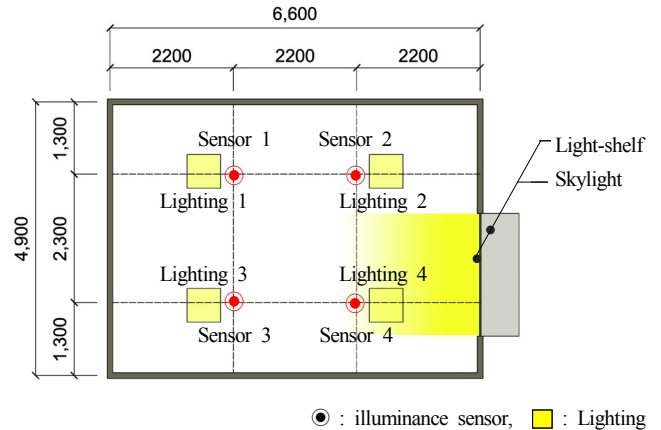


Fig. 3. Plane of Test-bed, Location of illuminance sensor

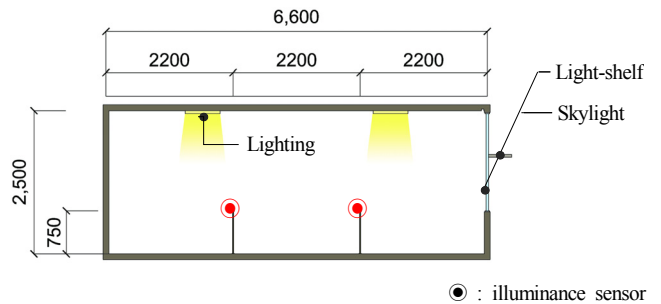


Fig. 4. Section of Test-bed, Height of illuminance sensor

4. 반사율에 따른 광선반 성능평가 방법 및 결과

4.1. 반사율에 따른 광선반 성능평가 방법

본 연구는 반사율에 따른 광선반 성능평가를 위하여 다음의 방법에 의거하여 성능평가를 진행하였다.

첫 번째, 고정형 광선반의 반사율에 따른 성능평가를 진행하였으며, 광선반의 각도는 0°로 설정하였다.

두 번째, 광선반 폭, 반사율, 각도에 따른 성능평가를 진행하였으며, 광선반 폭과 반사율에 따른 적정 각도를 도출하였다. 이후 적정 각도는 가동형 광선반의 반사율에 따른 성능평가를 위한 근거 자료로 활용하였다.

세 번째, 고정형과 가동형 광선반의 반사율에 따른 실내조도 측정값을 근거로 조명에너지 사용량을 산출하였으며, 조명제어는 조도측정값이 가장 낮은 지점에 근접한 조명부터 순차적으로 제어하였다. 각 조명의 제어는 8단계 조절이 가능한 디밍 조명제어가 가능하도록 하였다. 또한, 조명에너지 산출 방법은 <표5>와 같이 정남향의 하루 1시간, 절기당 약 15일을 기준으로 하였다.

Table 5. Energy consumption calculation for Performance Evaluation

Energy consumption(kWh)
Lighting energy consumption × Time(1h) × Solar term(15days)

4.2. 고정형 광선반의 반사율에 따른 성능평가 결과

본 절에서는 <표6>에서 나타나듯이 0° 고정형 광선반의 폭과 반사율에 따른 성능평가를 진행하였으며, 성능평가의 결과는 지면의 한계로 인하여 동지의 결과는 제시하지 않았다. 단, 동지는 낮은 태양고도로 인하여 본 연구에서 설정한 변인에 상관없이 400lx를 만족하기에 조명에너지 소비는 발생하지 않는다. 다음에 이에 대한 분석 내용이다.

첫 번째, 광선반에 의하여 외부 자연광이 직접적으로 유입되는 지점인 3번 조도센서와 평균조도는 반사율에 증가에 따라서 증가하는 경향을 보인다. 이는 광선반 반사율 증가에 따른 실내로 유입되는 광량이 증가하기 때문이다.

두 번째, 광선반 반사율의 증가에 따른 조도 균제도는 광선반 폭에 따라서 상이한 결과를 보이고 있으나 90%이상 반사율의 광선반을 사용시 균제도가 저하되는 경향을 보인다.

세 번째, 실제 조명과 연동하여 조명에너지 전력사용량을 산출한 결과 광선반의 폭 300mm, 반사율 75%와 광선반의 폭 400mm, 반사율 75%인 경우에는 에너지 소비량이 증가하고 있으며, 광선반 폭 300mm, 400mm의 반사율 80%이상의 경우와 광선반 폭 500mm 이상, 반사율 75%의 경우는 동일한 에너지 소비량이 도출되었다. 이는 에너지 저감의 측면에서 반사율 80%이상의 광선반을 사용시 유효하다는 결과이며, 반사율 90%가 넘는 고휘도 재질의 광선반을 적용 시 현휘 및 균제도 저하 등의 실내 빛환경 개선에 부적합하여 광선반 설계 시 고려해야 할 요소이다. 단, 광선반의 반사율 증가는 실내로 유입되는 광량이 증가하기에 광선반 적용 대상의 성격에 따라서 적절한 광선반의 반사율의 조절이 필요하다.

4.3. 가동형 광선반의 반사율에 따른 성능평가 결과

본 연구는 에너지 저감 측면에서 가동형 광선반의 하지, 동지, 춘추분에 따른 적정 각도를 <표7>과 같이 도출하였으며, 가동형 광선반을 위한 적정 각도의 도출 방법은 다음과 같다. 첫 번째, 동지의 경우와 같이 측정되는 조도의 값이 400lx를 넘어 갈 경우에는 최소 조도가 400lx에 근접한 각도를 광선반의 적정 각도로 산출하였다. 두 번째, 측정되는 실내 조도의 값 중 400lx 이하의 값이 있는 경우에는 최소 조도 값이 400lx에 근접하는 각도를 광선반의 적정 각도로 도출하였다.

가동형 광선반의 반사율에 따른 성능평가 결과는 다음과 같다.

첫 번째, 광선반 반사율에 따른 광선반의 정적각도는 상이하게 나타나고 있으며, 반사율에 따라서 유입되는 광량의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 또한, 하지의 적정 각도는 (+) 각도이며, 동지의 정적각도는 (-)각도로 도출된 근거는 하지시는 태양의 높은 고도로 인하여 빛의 유입시키기 위함이며, 동지시는 낮은 태양의 고도로 인해 실내로 유입되는 자연광을 차양하기 위함이다.

두 번째, 가동형 광선반의 경우 0° 고정형 광선반에 대비하여 조명에너지 저감이 이루어지고 있으며, 이에 따라서 폭 300mm 및 400mm의 반사율 75%인 0° 고정형 광선반의 조명에너지 사

용량도 개선되고 있음을 알 수 있다. 이는 외부 환경에 대응하여 광선반을 가동한 결과로 고정형 타입의 광선반에 대비하여 낮은 반사율의 재질을 광선반에 적용하여 현휘를 줄일 수 있다.

세 번째, <표9>에서 나타나듯이 폭 600mm, 반사율 75%인 가동형 광선반은 조명에너지 사용량이 증가하고 있으며, 이는 반사율 증가로 조명에너지 저감률을 증가시킬 수 있으나 현휘를 고려시 광선반의 폭을 400mm으로 줄여서 광선반 설계에 반영하는 것이 바람직하다고 판단된다.

4.4. 광선반의 반사율에 따른 성능평가 논의

본 연구는 테스트베드를 통한 광선반 반사율에 따른 성능평가를 진행하였으며, 실제 조명과 연동하여 조명에너지 사용량을 산출하였다. 그 결과 고정형 광선반의 경우에는 광선반의 폭에 따른 적정반사율은 80%이며, 광선반의 폭이 증가함에 따라서 75%의 반사율을 적용할 수 있다. 가동형 광선반의 경우에는 외부환경에 대응하여 적절한 가동을 통하여 채광성능 개선이 가능하며, 이에 따라서 75%의 반사율을 적용하여 에너지 저감을 유도할 수 있으나 폭 600mm의 가동형 광선반의 경우 75%의 반사율을 적용시 조명에너지 사용량이 증가하여 부적합하다. 이에 고정형 및 가동형 광선반의 경우 적정 반사율은 80%이나 광선반설계시 광선반의 가동 여부와 폭에 따른 반사율 조정은 필요하다고 판단된다.

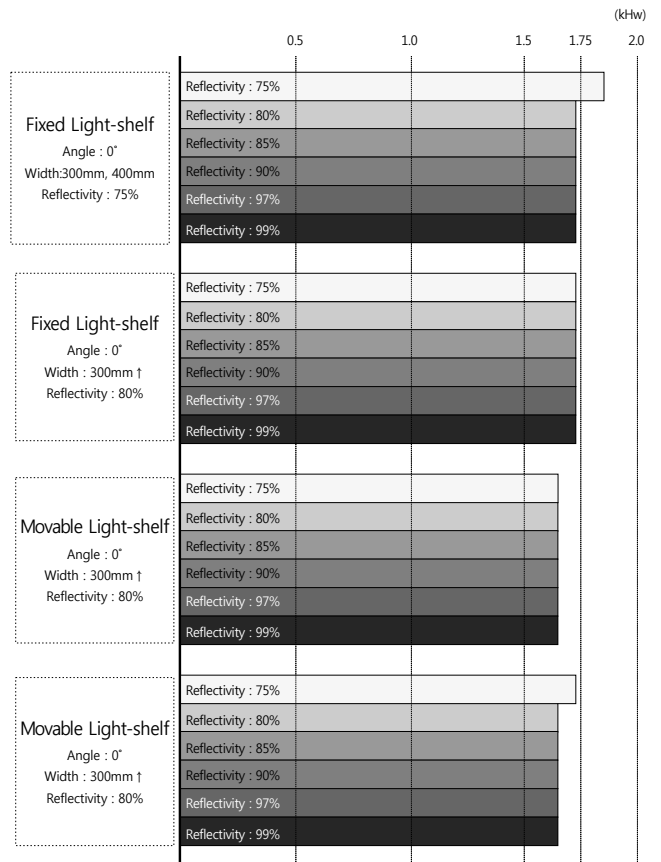


Fig. 5. Lighting energy consumption according to the Reflectivity

Table 6. Performance evaluation result of fixed type Light-shelf according to the Reflectivity

Light-shelf		Solar term	Illumination sensor				Average illumination	Uniformity factor	Lighting dimming control : Lighting Number(Dimming level)	Lighting energy consumption(kWh)
width(mm)	reflectivity(%)		1	2	3	4				
300	75	summer	91.7	255.2	126.9	521.9	248.9	0.368	Lighting 1(8)→Lighting 3(3)	1.848
		spring and fall	240.6	608.6	346.0	1295.6	622.7	0.386	Lighting 1(4)	
	80	summer	103.8	256.0	130.7	540.1	257.7	0.403	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	244.5	611.1	358.8	1293.3	626.9	0.390	Lighting 1(4)	
	85	summer	103.0	255.7	129.1	545.9	258.4	0.399	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	246.7	616.5	362.6	1310.8	634.2	0.389	Lighting 1(4)	
	90	summer	99.5	266.2	131.3	547.1	261.0	0.381	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	247.7	620.2	356.1	1338.3	640.6	0.387	Lighting 1(4)	
	97	summer	97.3	270.2	134.5	571.4	268.4	0.363	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	251.1	614.6	363.8	1345.3	643.7	0.390	Lighting 1(4)	
	99	summer	101.1	264.4	131.0	553.8	262.6	0.385	Lighting 1(8)→Lighting 3(3)	1.848
		spring and fall	257.3	615.0	359.2	1343.6	643.8	0.400	Lighting 1(4)	
400	75	summer	100.8	262.1	128.6	541.8	258.3	0.390	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.848
		spring and fall	238.3	584.0	336.3	1254.8	603.4	0.395	Lighting 1(4)	
	80	summer	100.6	267.6	133.5	556.8	264.6	0.380	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	229.9	584.9	330.9	1262.9	602.2	0.382	Lighting 1(4)	
	85	summer	98.4	271.9	132.1	575.2	269.4	0.365	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	237.5	586.6	342.6	1309	618.9	0.384	Lighting 1(4)	
	90	summer	100.1	268.2	134.6	583.7	271.7	0.368	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	251.1	600.2	343.1	1299.6	623.5	0.403	Lighting 1(4)	
	97	summer	105.4	281.3	135.1	597.1	279.7	0.377	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	244.8	610.7	345.6	1351.2	638.1	0.384	Lighting 1(4)	
	99	summer	104	293.3	137.9	593.0	282.1	0.369	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	247.2	615.4	349.0	1342.1	638.4	0.387	Lighting 1(4)	
500	75	summer	103.2	281.3	135.0	574.6	273.5	0.377	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	227.2	567.6	320.9	1240.5	589.1	0.386	Lighting 1(4)	
	80	summer	101.4	291.4	138.7	594.6	281.5	0.360	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	229.6	555.1	325.1	1265.1	593.7	0.387	Lighting 1(4)	
	85	summer	104.9	282.2	136.6	610.8	283.6	0.370	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	228.5	584.6	327.1	1273.4	603.4	0.379	Lighting 1(4)	
	90	summer	108.3	290.7	138.0	604.7	285.4	0.379	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	230.1	587.4	330.8	1306.5	613.7	0.375	Lighting 1(4)	
	97	summer	106.4	300.8	141.4	621.7	292.6	0.364	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	225.5	591.3	327.2	1295.4	609.9	0.370	Lighting 1(4)	
	99	summer	109.2	289.6	143.8	623.0	291.4	0.375	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	232.4	578.2	327.3	1305.4	610.8	0.380	Lighting 1(4)	
600	75	summer	104.8	276.7	136.1	591.1	277.2	0.378	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	217.7	532.4	299.5	1187.5	559.3	0.389	Lighting 1(4)	
	80	summer	110.3	295.0	139.7	605.6	287.7	0.383	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	225.8	554.1	308.8	1229.5	579.6	0.390	Lighting 1(4)	
	85	summer	106.7	296.7	136.8	608.5	287.2	0.372	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	226.1	558.4	308.4	1257.5	587.6	0.385	Lighting 1(4)	
	90	summer	105.7	306.1	143.5	632.8	297.0	0.356	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	235.0	565.7	321.0	1313.4	608.8	0.386	Lighting 1(4)	
	97	summer	117.9	307.1	145.9	643.5	303.6	0.388	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	225.8	580.3	315.1	1309.5	607.7	0.372	Lighting 1(4)	
	99	summer	106.6	301.0	146.4	663.8	304.5	0.350	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		spring and fall	225.9	599.3	320.1	1313.8	614.8	0.367	Lighting 1(4)	

Table 7. Appropriate angle according to the reflectivity

Light-shelf		Appropriate angle			Light-shelf		Appropriate angle			Light-shelf		Appropriate angle			Light-shelf		Appropriate angle		
W(mm)	R(%)	☉	☾	☼	W(mm)	R(%)	☉	☾	☼	W(mm)	R(%)	☉	☾	☼	W(mm)	R(%)	☉	☾	☼
300	75	30	-30	30	400	75	20	-30	30	500	75	30	-30	30	600	75	30	-30	30
	80	20	-30	30		80	30	-30	30		80	30	-30	30		80	30	-30	30
	85	20	-30	20		85	30	-30	30		85	30	-30	30		85	30	-30	30
	90	30	-30	20		90	30	-30	20		90	30	-30	30		90	30	-30	30
	97	30	-30	30		97	30	-30	30		97	30	-30	30		97	30	-30	30
	99	30	-30	30		99	30	-30	30		99	30	-30	30		99	30	-30	30

W : width, R : reflectivity, ☉ : summer, ☾ : Winter, ☼ : spring and fall

Table 8. Performance evaluation result of Movable type Light-shelf according to the Reflectivity(Width : 300mm, 400mm, 500mm)

Light-shelf		Solar term	Angle of Light-shelf	Illumination sensor				Average illumination	Uniformity factor	Lighting dimming control : Lighting Number(Dimming level)	Lighting energy consumption(kWh)	
Width (mm)	Reflectivity (%)			1	2	3	4					
300	75	summer	30	93.8	258.4	142	565.3	264.9	0.354	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642	
		winter	-30	475.3	684.1	718.0	26308.4	7046.4	0.067	-		
		spring and fall	30	272.5	628.4	387.4	1331.4	654.9	0.416	Lighting 1(3)		
	80	summer	20	107.3	275.6	140	555.1	269.5	0.398	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642	
		winter	-30	481.9	670.4	718.2	26256.6	7031.8	0.069	-		
		spring and fall	30	281.5	668.9	390.5	1366.2	676.8	0.416	Lighting 1(3)		
	85	summer	20	107.7	261.7	139.3	565.6	268.6	0.401	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642	
		winter	-30	485.9	674.7	714.8	26265.1	7035.1	0.069	-		
		spring and fall	20	287.5	654.7	376.4	1365.5	671.0	0.428	Lighting 1(3)		
	90	summer	30	120.8	277.9	149	583.6	282.8	0.427	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642	
		winter	-30	490.5	657.4	723.8	26326.7	7049.6	0.070	-		
		spring and fall	20	282.3	645.3	380.5	1359.2	666.8	0.423	Lighting 1(3)		
	97	summer	30	112.2	274.1	148.9	582.9	279.5	0.401	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642	
		winter	-30	500.0	686.7	715.9	26345.9	7062.1	0.071	-		
		spring and fall	30	285.1	657.4	391.3	1360.8	673.7	0.423	Lighting 1(3)		
	99	summer	30	118.2	288.8	150.2	606.1	290.8	0.406	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642	
		winter	-30	487.9	670.6	719.9	26297.8	7044.0	0.069	-		
		spring and fall	30	281.9	659.4	403.8	1370.4	678.9	0.415	Lighting 1(3)		
	400	75	summer	20	105.1	285.3	141.1	569.8	275.3	0.382	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642
			winter	-30	463.1	655.1	680.3	26201.6	7000.0	0.066	-	
			spring and fall	30	275.1	647.7	384.7	1353.5	665.3	0.414	Lighting 1(3)	
		80	summer	30	111.4	285.9	151.2	582.7	282.8	0.394	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642
			winter	-30	452.1	624.3	689.9	26216.5	6995.7	0.065	-	
			spring and fall	30	273.1	648.8	383.1	1346.7	662.9	0.412	Lighting 1(3)	
85		summer	30	113.6	288.2	148.3	604.8	288.7	0.393	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642	
		winter	-30	469.3	612.9	683.4	26214.3	6995.0	0.067	-		
		spring and fall	30	283.4	653.9	396.7	1350.3	671.1	0.422	Lighting 1(3)		
90		summer	30	114.9	295.4	152.8	613.1	294.1	0.391	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642	
		winter	-30	452.6	638.7	688.9	26188	6992.0	0.065	-		
		spring and fall	20	275.4	655.8	381.2	1382.1	673.6	0.409	Lighting 1(3)		
97		summer	30	116.7	293.7	153.4	628.6	298.1	0.391	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642	
		winter	-30	458.9	649.8	686.8	26246.1	7010.4	0.065	-		
		spring and fall	30	270.5	668.3	390.2	1372.4	675.4	0.401	Lighting 1(3)		
99		summer	30	123.4	302.5	152.9	661.2	310.0	0.398	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642	
		winter	-30	458.9	649.8	686.8	26246.1	7010.4	0.065	-		
		spring and fall	30	279.1	644.9	407.6	1404.7	684.1	0.408	Lighting 1(3)		
500		75	summer	30	117.2	286.3	147.5	600.1	287.8	0.407	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642
			winter	-30	433.6	598.0	646.8	26143.3	6955.4	0.062	-	
			spring and fall	30	272.4	629.9	380.5	1365.2	662.0	0.411	Lighting 1(3)	
		80	summer	30	120.2	294.1	149.8	612.5	294.2	0.409	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642
			winter	-30	429.2	626.3	653.3	26217.8	6981.7	0.061	-	
			spring and fall	30	271.1	670.9	390.6	1355.8	672.1	0.403	Lighting 1(3)	
	85	summer	30	126.5	305.2	153.0	625.9	302.7	0.418	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642	
		winter	-30	413.7	590.9	655.6	26171	6957.8	0.059	-		
		spring and fall	30	274.8	634.9	392.3	1369.6	667.9	0.411	Lighting 1(3)		
	90	summer	30	124.7	308.7	158.4	661.9	313.4	0.398	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642	
		winter	-30	438.3	621.8	655.7	26172	6972.0	0.063	-		
		spring and fall	30	283.5	645	392.1	1364.2	671.2	0.422	Lighting 1(3)		
	97	summer	30	128.7	336.3	156.5	651.1	318.2	0.405	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642	
		winter	-30	423.0	611.1	652.1	26216.8	6975.8	0.061	-		
		spring and fall	30	281.3	643.6	393.8	1369.2	672.0	0.419	Lighting 1(3)		
	99	summer	30	129.0	350.4	160.7	685.5	331.4	0.389	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642	
		winter	-30	428.4	631.2	646.0	26167.8	6968.3	0.061	-		
		spring and fall	30	287.3	662.8	402.3	1429.8	695.6	0.413	Lighting 1(3)		

Table 9. Performance Evaluation Result of Movable Light-shelf according to the Reflectivity(Width : 600mm)

Light-shelf		Solar term	Angle of Light-shelf	Illumination sensor				Average illumination	Uniformity factor	Lighting dimming control : Lighting Number(Dimming level)	Lighting energy consumption(kWh)
Width (mm)	Reflectivity (%)			1	2	3	4				
600	75	summer	30	125.6	298.5	155.4	638.5	304.5	0.412	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.726
		winter	-30	411.3	576.2	616.8	26069.1	6918.4	0.059	-	
		spring and fall	30	257.7	612.8	366	1310.8	636.8	0.405	Lighting 1(4)	
	80	summer	30	123.8	298.5	157.6	650.6	307.6	0.402	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642
		winter	-30	405.2	553.1	618.7	26067	6911.0	0.059	-	
		spring and fall	30	274.4	641.4	386.7	1360.5	665.8	0.412	Lighting 1(3)	
	85	summer	30	139.1	314.2	166.9	684.6	326.2	0.426	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642
		winter	-30	424.9	592.5	623.9	26133.1	6943.6	0.061	-	
		spring and fall	30	263.6	641.1	390	1360	663.7	0.397	Lighting 1(3)	
	90	summer	30	135.1	324.5	167.5	677.4	326.1	0.414	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642
		winter	-30	460.9	632.3	597.1	25532.1	6805.6	0.068	-	
		spring and fall	30	271.9	628.1	395.4	1363.2	664.7	0.409	Lighting 1(3)	
	97	summer	30	127.3	329.6	171.7	705.1	333.4	0.382	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642
		winter	-30	408.7	577.4	619.4	26097.4	6925.8	0.059	-	
		spring and fall	30	271.3	632.2	390.8	1364.5	664.7	0.408	Lighting 1(3)	
	99	summer	30	146	338.3	171.4	726.1	345.5	0.423	Lighting 1(8)→Lighting 3(2)	1.642
		winter	-30	408.3	589.1	617.2	26120.3	6933.7	0.059	-	
		spring and fall	30	271.1	642.2	388.7	1365.3	666.8	0.407	Lighting 1(3)	

5. 결론

본 연구는 테스트베드를 통한 광선반 반사율에 따른 성능평가 연구로 광선반의 적정 반사율 도출을 목적으로 진행하였으며, 이에 대한 결론은 다음과 같다.

첫 번째, 광선반 반사율의 증가는 실내 조도 평균을 증가시키고 있으나, 실내 빛환경 쾌적도와 관련된 균제도를 저하시킨다. 이는 단순 광선반의 반사율을 높여서 채광성능 개선을 유도시키는 것은 적합하지 않다는 내용의 반증이다.

두 번째, 0° 고정형 광선반의 경우에는 폭 300mm 및 400mm의 반사율 75%인 광선반의 경우 조명에너지 사용량이 다른 변수들에 의한 조명사용량보다 증가하여 부적합하게 분석된다.

세 번째, 본 연구는 가동형 광선반을 위한 동지, 하지, 춘추분의 적정 각도를 도출하였으며, 이를 근거로 가동형 광선반의 반사율에 따른 성능평가를 실시하였다. 가동형 광선반은 외부환경에 대하여 가동함에 따라 고정형 광선반에 비하여 낮은 반사율을 적용 가능하며, 이는 폭 500mm이하의 광선반인 경우 반사율 99%부터 75%까지 조명 에너지사용량이 동일하게 나타나고 있기 때문이다. 단, 폭 600mm의 가동형 광선반의 경우에는 반사율 75% 적용 시 조명에너지 사용량이 증가하여 부적합하다.

네 번째, 고정형 광선반 및 가동형 광선반의 반사율에 따른 성능평가 결과 반사율 80%의 광선반이 적합하게 도출되나, 광선반의 폭과 각도에 따라서 75%의 반사율을 적용할 수 있다.

본 연구는 광선반의 반사율에 따른 성능평가 및 적정 반사율 도출을 위한 기초자료를 구축한다는 점에서 그 의미를 부여할 수 있다. 그러나 본 연구는 테스트베드의 특정 공간에 대한 성능평가로 한계가 있으며, 광선반의 반사판의 보다 다양한 환경에서 성능 검증을 진행해야 할 것이다.

References

- [1] 김기철, “경사형 광선반 채광시스템의 개발 및 채광성능평가에 관한 연구”, 경희대학교 석사학위논문, 2004 // (Kim Kichul, A Development and Performance Evaluation of Sloped Lightshelf Daylighting System. A master’s thesis of Kyung Hee University, 2004.02)
- [2] 김동수, 윤종호, 신우철, 이광호, “광선추적법을 활용한 곡면형 광선 반사시스템 설계 및 채광성능 평가”, 한국태양에너지학회 논문집, 제3권 제4호, 20011 // (Kim Dongsu, Yoon Jongho, Shin Woochul, Lee Kwangho, Evaluation of Daylighting Performance and Design of a Curved-Lightshelf by the Ray Tracing Method. The Korean Solar Energy Society, Vol.3, No.4, 20011.8)
- [3] 김봉균, 김정태, 김곤, “광선반 유형에 따른 실내 채광특성에 관한 축소모형 실험적 연구”, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 2005 // (Kim Bongkyun, Kim Jeong Tai, Scale Model Experiment for Daylighting Performance by Lightshelf Types. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 2005.11)
- [4] 김정태, 김기철, 김곤, “Mock-up model을 이용한 경사형광선반 채광시스템의 개발 및 채광성능 평가에 관한 연구”, 한국태양에너지학회 논문집, 제24권 제2호, 2004 // (Kim Jeong Tai, Kim Kichul, Kim Gon, Development and Performance Evaluation of a Sloped Lightshelf Daylighting System. The Korean Solar Energy Society, Vol.24, No.2, 2004.6)
- [5] 김정태, 신현구, 김곤, “광반사를 이용한 광선반 채광시스템의 기본형 상 설계 및 성능평가에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제19권 제 3 호, 2003 // (Kim Jeongtai, Shin Hyungu, Kim Gon, Design and Performance of Horizontal Light-Redirecting Devices in Offices, Architectural Institute of Korea, v.19 n.3 2003.03)
- [6] 문기훈, 김정태, “Lightscape를 이용한 광선반의 상호시스템의 채광성능평가”, 한국생태환경건축학회 논문집, 제4권 제4호, 2004 // (Moon

- Kihoon, Kim Jeong Tai, Daylighting Performance Evaluation of Lightshelf Window System by Lightscape. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Vol.4, No.4, 2004.12)
- [7] 이종수, “폴리카보네이트 광선반의 채광 및 에너지성능평가에 관한 연구”, 경희대학교 박사학위논문, 2013// (Lee Jongsu, Cha Seonjun Yugeun, A study on the assessment of energy performance of photovoltaic light shelf system. A doctor's thesis of of Kyung Hee University, 2013)
- [8] 이현우, 이시내, “사무소 건물에서 수평형 광선반을 이용한 빛환경 개선”. 한국생활환경학회지, 제18권 제 1호, 2011 // (Lee Hyeonu, Lee Sinae, The Improvement of Uniformity Ratio for Luminous Environment Using Horizontal Lightshelf in an Office Building. Korean Journal of the living environment, Vol.18, No1, 2011.02)
- [9] 장준호, 박명철, 최안섭, “광이중 광선반을 이용한 사무공간의 자연채광 성능평가에 관한 연구 ”, 한국조명전기설비학회 추계 학술발표대회 논문집 , 2006 // (Chang Junho, Park Byoungchul, Choi Anseop, A Study on the Daylighting Performance in the Office Space with Double-lightshelf. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 2006.11)
- [10] 정유근, “창호일체형 광선반 시스템 채광성능 평가”, 한국생태환경건축학회 논문집, 제7권 제5호, 2007 // (Jung Yugeun, Daylighting Performance Evaluation of window Integrated Light shelf System. Journal of the Korean Institute of Educational Architecture and Environment, Vol.7, No.5, 2013.03)
- [11] 조일식, 김기세, 윤종호, 이진숙, “Lightscape를 이용한 광선반의 주광 성능 해석 및 평가”, 한국태양에너지학회 춘계학술발표회, 2001 // (Cho Ilsik, Kim, Yoon Jongho, Analysis and estimate the performance of lightshelf system using lightscape. The Korean Solar Energy Society, 2001.05)
- [12] 차성준, “태양광발전 광선반 시스템의 에너지 성능평가에 관한 연구”, 한국교통대학교 석사학위논문, 2013// (Cha Seonjun Yugeun, study on the assessment of energy performance of photovoltaic light shelf system. A master's thesis of Korea national university of transportation, 2013.02)
- [13] 한은수, 육대근, 진경일, 윤종호, “광선반의 불쾌현황에 대한 대책연구”, 한국건축환경설비학회 추계학술발표대회, 2008// (Han Eun-Su, Yook Dae-Keun, Chin Kyung-II, Yoon Jong-Ho, A study on the of measure discomfort glare for light shelves, Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and building System, 2008.10)
- [14] 국가표준인증종합정보센터 www.standard.go.kr
- [15] 3M, Construction Markets, Product Information