

결정면 적용 광선반 채광성능 평가 연구

A Study on Lighting Performance Evaluation of Light-Shelf using Crystal Face

이행우(Heangwoo Lee), Kyle Eric Rogers, 서장후(Janghoo Seo), 김용성(Yongseong Kim)[†]

국민대학교 테크노디자인전문대학원

The Graduate School of Techno Design, Kookmin University, Seoul, 136-702, Korea

(Received April 20, 2015; revision received June 9, 2015; Accepted: June 10, 2015)

Abstract Recently, many research studies have been carried out on the efficiency of light-shelf daylighting systems, especially comparing performance improvements and the limitations of reflective surfaces and their lighting performance. In this study, a crystal face reflective surface is proposed. The objective of the study is to evaluate the lighting performance of a crystal face light-shelf through a performance study. The performance study was carried out in a full scale test-bed in order to calculate the light distribution and energy consumption utilizing the standard indoor illumination as an index. The conclusions of the performance study are as follows. 1) The optimal angle of incidence for daylighting for both the operable flat type light-shelf and the crystal face light-shelf are taken in the natural environment on the dates of the winter and summer solstices, as well as the autumn and spring equinoxes. 2) The application and installation of the crystal face light-shelf can produce a 29.9%~34.3% increase of light distribution within the indoor space. However, the increase of light distribution can also lead to a decrease in the uniformity ratio, a design challenge that should be considered when applying a crystal face light-shelf. 3) It is possible to achieve a 7.98%~13.3% greater reduction in energy consumption when applying a crystal face light-shelf than when applying a flat type light-shelf. The increase in the number of crystal faces should concur with the analysis of the energy reduction. A limitation of the study is that only one predetermined pattern was performance tested for a crystal face light-shelf. In order to carry out further research on crystal face light-shelves, additional performance studies are needed based on alternative patterns and designs.

Key words Light-shelf(광선반), Crystal face(결정면), Diffused reflection(난반사), Lighting performance(채광성능)

[†] Corresponding author, E-mail: yongkim@kookmin.ac.kr

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

2012년 국토환경지속성포럼 자료에 의하면 건물부분의 에너지 소비량은 전체 에너지 소비량에 대비하여 한국과 미국의 경우 각각 23%, 33.7%를 차지하고 있으며, 특히 조명에너지 소비량은 건물 부분에너지 소비량에 대하여 국내의 경우 22%로 높게 나타나고 있어서 이를 해결하기 위한 채광 시스템 등과 관련한 연구와 기술개발은 지속적으로 이루어지고 있다. 이중 자연채광 시스템은 그 효율을 인정받아서 성능개선을 위한 연구가 활발히 진행 중에 있으며,⁽¹²⁾ 광선반은 자연채광시스템의 하나로서 광선반 반사판을 통하여 외부 자연광을 실내 깊숙이 유입시킨다는 측면에서 실내 조명에너지 저감에 적합하다는 평가를 받고 있다. 그러나 현재 진

행되고 광선반 관련 연구에서의 광선반 반사판의 형태는 평판의 형태로써 태양의 방위각 및 고도 등의 외부 환경 조건에 따라서 성능이 저하된다는 단점을 가지고 있다. 이러한 점은 광선반 연구 및 보급에 걸림돌이 된다고 판단한다.

이에 본 연구는 채광성능 개선을 위한 광선반 형태를 제안하며, 테스트베드를 통한 성능검증을 통한 그 유효성 검증을 목적으로 한다.

1.2 연구의 절차 및 방법

본 연구는 결정면 적용 광선반의 성능평가 연구로 Fig. 1과 같이 진행하였다.

첫 번째, 광선반의 개념, 광선반이 반사를 통하여 실내로 빛을 유입한다는 측면에서 빛의 반사형태 및 성능평가를 위한 실내 조도기준을 고찰하였다. 두 번째,

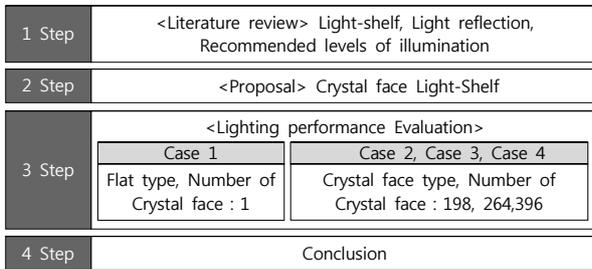


Fig. 1 Floe chart of study.

결정면 적용 광선반을 제안하며, 이후 성능평가를 위한 광선반의 반사판 형태를 설정하였다. 세 번째, 제안된 결정면 적용 광선반의 성능을 검증하기 위하여 테스트베드 및 성능평가 환경을 설정하였으며, 기존의 평판형 광선반과 성능을 비교 및 분석하였다. 단, 본 연구에서 제안하는 결정면의 형태는 난반사를 유도하기 위하여 다양한 형태로 조합된 타입을 제시하고 있으나, 성능평가 및 연구의 진행 특성상 특정 패턴을 반복하는 형태로 설정하여 진행하였다.

2. 광선반의 개념 및 조도기준

2.1 광선반의 개념 및 원리

광선반은 Fig. 2에서 나타나듯이 외부 자연광을 광선반의 반사판, 실내공간의 천장, 실내 공간의 깊이에 따라서 벽면 또는 바닥면 순의 반사를 통하여 실내로 유입시키는 자연채광시스템이다. 이에 제 1 반사가 이루어지는 광선반의 반사판의 형태는 채광성능을 결정짓는 중요한 요소이다. 그러나 기존 광선반에 관련한 선행 연구는 평판 형태의 광선반에 국한되어 진행되었으며,^(2-7, 9, 11, 13) 이는 반사과정에 있어서 일종의 거울반사가 이루어져 외부환경 요인에 의한 성능저하 및 현회를 발생시키는 원인이 되고 있다.⁽¹⁰⁾

2.2 빛의 반사 형태

본 연구는 광선반이 외부 자연광이 반사를 통하여 빛

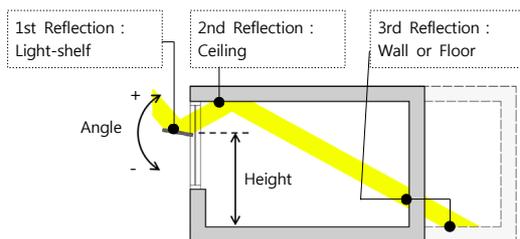
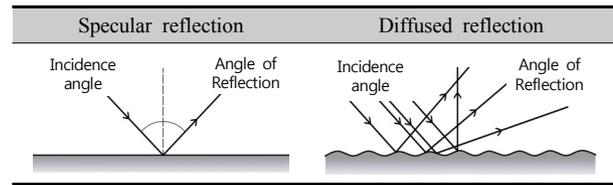


Fig. 2 Concept and variable type of light-shelf.

Table 1 Concept of specular reflection and diffused reflection



을 실내로 유입한다는 측면에서 빛의 반사 형태에 대한 고찰을 실시하였으며, Table 1에서 나타나듯이 빛의 반사형태인 거울반사와 난반사에 대하여 고찰을 실시하였다. 거울반사는 거울과 같이 매끄러운 면에서 반사되는 형태로 정반사라고 하며, 난반사는 울퉁불퉁한 면에서 반사되어 빛이 여러 방향으로 퍼지는 반사를 난반사라고 한다. 단, Table 1은 난반사의 개념을 설명하기 위하여 단면상으로 국한하였으며, 난반사는 특정 방향이 아닌 규칙을 지니지 아니한 다양한 방향으로 퍼져나가는 것을 의미한다. 기존 광선반의 경우에는 일종의 거울반사가 적용되고 있다고 판단되며, 이러한 경우에는 광선반에 의한 빛의 유입과정에서 빛의 방향성이 결정되어 광선반 제어가 용이하다는 장점이 있으나 실내 빛환경 개선의 측면에서는 일정 영역으로만 빛이 유입시킨다는 측면은 부적합할 수 있다.

2.3 실내 조도기준

실내의 적정 조도의 유지는 실내 쾌적도 개선 뿐만 아니라 조명에너지 저감과 직접적으로 연계되어 있어서 중요한 부분이다.⁽¹⁾ 이에 조도기준에 대하여 국내의 경우 Table 2에서 나타나듯이 KS A 3011로 명시하고 있다. KS A 3011은 적용 대상의 성격 및 활동 유형 등에 따라서 최소, 표준, 최대 조도기준을 제시하고 있으며, 본 연구는 일반취도 대비 시작업의 표준조도인 400 lx 를 이후 성능평가의 조명제어를 위한 기준으로 설정하여 진행하였다.

Table 2 Standard lux : KS A 3011

Type of activity	Scope[lx]		
	min.	ave.	max.
Visual Performance according to the degree of high-brightness	150	200	300
Visual Performance according to the degree of general-brightness	300	400	600
Visual Performance according to the degree of low-brightness	600	1,000	1,500

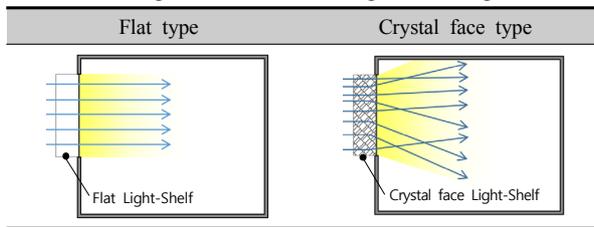
3. 결정면 적용 광선반 반사판 형태 제안 및 성능평가 환경 설정

3.1 결정면 적용 광선반 반사판 형태 제안

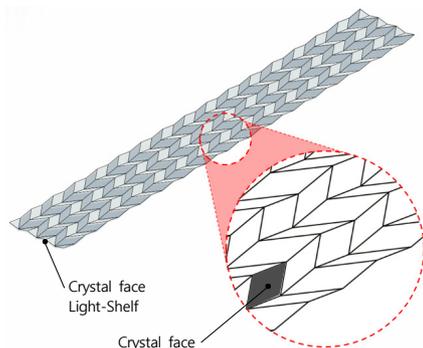
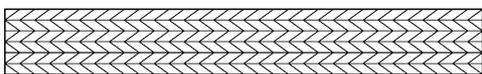
결정면은 결정의 외형을 규정하는 면으로 정의되며, 본 연구는 평판의 형태가 아닌 다양한 형태의 면들이 각기 다른 각도에 의하여 조합되어진 굴곡진 형태의 광선반을 결정면 적용 광선반으로 지칭하여 진행하였다.

본 연구는 Table 3에서 나타나듯이 광선반의 반사판에 난반사의 원리를 적용하기 위하여 다양한 형태와 크기의 결정면이 조합된 광선반을 제안하며, 이후 성능평가를 위하여 제안된 결정면 적용 광선반 타입은 제작의 용이성 및 패턴과 관련 문헌고찰을 근거⁽¹⁵⁾로 Fig. 3에서 나타나듯이 광선반의 결정면이 일정한 크기와 형태가 반복되는 패턴으로 제한하여 연구를 진행하였다. 본 연구에서 적용된 광선반 반사판의 결정면 패턴은 크기와 모양은 같으나 결정면이 조합되는 과정에 있어서 4개의 방향성이 생기도록 하였으며, 광선반의 결정면의 개수 조절에 따라 패턴의 크기와 반사판의 깊이를 조절하였다.

Table 3 Light inflow according to the light-shelf



(a) Plane of crystal face Light-shelf(Number of Crystal face : 198)



(b) Perspective and enlarged view of crystal face Light-shelf

Fig. 3 Shape of crystal face light-shelf.

3.2 광선반 성능평가를 위한 환경 설정

본 연구는 광선반 성능평가를 위하여 Table 4에서 나타나듯이 테스트베드를 구축하였으며, 결정면 적용 광선반이 실내로 외부 자연광을 유입하는 과정에서 난반사가 이루어져 채광성능이 개선할 수 있다는 측면에서 창 위치를 한쪽으로 치우치게 배치하였다. 또한, 테스트베드의 인공태양광은 높이, 각도 및 광량을 조절하여 각 절기에 적합한 환경을 조성하였으며, 성능평가를 위한 외부조는 동지 3만 lx, 하지 8만 lx, 춘추분 6만 lx로 설정⁽⁸⁾하였다. 본 성능평가에 적용된 조명은 8단계의 디밍 조명제어가 가능하다. Table 5는 조명 디밍 단계별 전력사용량이다.

성능평가를 위한 조도측정 위치는 Fig. 4에서 나타나듯이 총 8개이며, 조도 측정 높이는 작업면 높이를 고려하여 바닥으로부터 750 mm로 설정하였다.

본 연구의 중요한 변인인 광선반 반사판의 형태는 Table 6에서 나타나듯이 평판형과 결정면 타입으로 분류하여 설정하였으며, 결정면 타입은 결정면 개수에 대하여 198개, 264개, 296로 각각 Case 2, Case 3, Case 4로 구분하였다. 또한 결정면의 형태는 앞서서 언급하였듯이 불규칙한 형태를 제안하나 연구의 실험 및 제작의 용이성을 위하여 일정한 패턴으로 제한하여 진행하였다. 광선반 관련 기타 변인은 Table 7과 같으며, 광선반의 폭과 높이는 관련연구를 근거^(10, 14)하여 폭 300 mm, 높이 1,800 mm의 외부 광선반으로 제한하였다.

Table 4 Setting of test-bed

Room size, Material	4.9 m(W)×6.6 m(D), 2.5 m(Ceiling height) Wall : reflexivity 46%, Ceiling : reflexivity 86%
Window size, Material	2.2 m(W)×1.8 m(H) Pair glass 12 mm(3 mm×6 mm×3 mm)
Direction	South
Lighting	8 Level dimming
Test-bed view	

Table 5 Energy consumption for phased light dimming

Energy consumption for phased light dimming(W)								
1 Lv	2 Lv	3 Lv	4 Lv	5 Lv	6 Lv	7 Lv	8 Lv	
12.33	18.31	22.04	27.65	34.00	38.48	42.59	50.81	

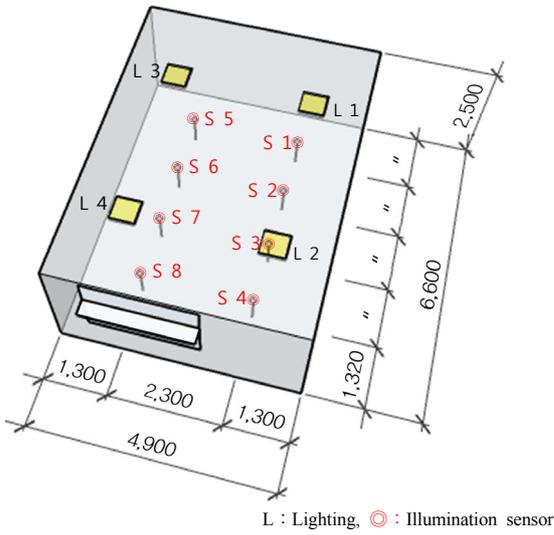


Fig. 4 Setting of the location of the lighting and light sensors for the performance study.

Table 6 Setting of the light-shelf's reflective surface for the performance study

	Shape of reflector	Number of Crystal face
Case 1	Flat	1
Case 2	Crystal face	198
Case 3		264
Case 4		396

Table 7 Setting of the light-shelf's variables

Light-shelf	Scope
width	External type : 300 mm
Angle	-10°, 0°, 10°, 20°, 30°
height	1,800 mm
reflectivity	80%

3.3 광선반 성능평가 방법

본 연구는 결정면 적용 광선반 성능평가로써 다음과 같은 방법에 의하여 진행하였다.

첫 번째, 본 연구의 환경설정에 의하여 진행된 채광 성능평가 결과를 바탕으로 편광형 광선반과 결정면 적용 광선반의 적정 각도를 도출하였다. 광선반의 적정 각도 도출은 측정 실내 조도의 최소 측정값이 400 lx에 근접하는 광선반 각도로 선정하였다. 이는 앞서서 고찰한 내용을 근거하며, 400 lx 이하의 조도 값이 있을 경우에는 조명제어가 필요시 되기 때문이다. 두 번째, 본 연구의 결정면 적용 광선반은 외부 자연광을 실내로

유입함에 있어서 난반사의 이점을 얻을 수 있으며, 이러한 측면은 실내 균제도 개선이 예측된다. 이에 본 연구는 편광형 광선반과 결정형 광선반의 적용에 따른 균제도를 산출하여 성능평가의 지표로 활용하였다. 세 번째, 본 연구는 실스케일의 테스트베드에서 성능평가를 진행함에 따라서 조명제어에 따른 조명에너지 사용량 산출이 가능하다. 이에 광선반 타입 및 변인에 따른 조명에너지 전력 사용량을 산출하여 성능평가의 지표로 활용하였다. 조명제어는 최소조도가 400 lx 이하가 있을 경우에 실시하며, 최소조도인 지점에 가까운 조명부터 단계별로 제어한다. 조명 제어간 최소조도가 400 lx를 만족할 경우 조명제어를 종료하였다. 조명에너지 사용량 산출은 정남향 기준 하루 1시간, 절기에 따른 약 15일을 기준으로 산출하였다.

4. 결정면 적용 광선반의 성능평가 결과 및 논의

4.1 결정면 적용 광선반의 성능평가 결과

평판형 및 결정형 적용 광선반의 성능평가 결과는 Table 8과 Table 9같으며, 이에 대한 결론은 다음과 같다.

첫 번째, 본 연구에서 설정한 성능평가 환경에 따른 편광형 광선반의 적정안은 하지 30°, 춘추분 20°, 동지 30°의 가동형 광선반으로 도출된다. 또한, 결정면 적용 광선반의 적정안은 결정면의 개수에 따라서 상이하게 나타나고 있으나 가동형 광선반을 통한 각 절기에 따라 제어가 필요할 것으로 판단된다.

두 번째, 하지시 결정면 적용 광선반이 설치된 실내공간은 Fig. 5에서 나타나듯이 기존 평판형 광선반이 설치된 실내공간에 대비하여 결정면의 개수에 따라서 균제도가 29.9%~34.3% 상승하고 있으며, 이는 결정면에 의한 난반사의 원리가 적용된 결과로 판단된다. 단,

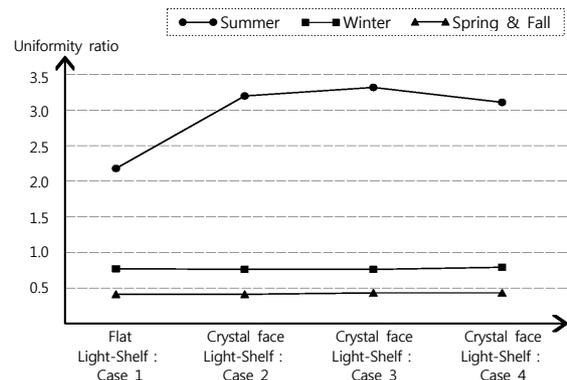


Fig. 5 Uniformity ratio to follow the light-shelf's reflective surface form.

Table 8 Performance evaluation result of flat light-shelf

Angle of Light-shelf	Summer				Spring and Fall				Winter			
	illumination photometry(lx)		Average illumination	Uniformity ratio	illumination photometry(lx)		Average illumination	Uniformity ratio	illumination photometry(lx)		Average illumination	Uniformity ratio
	min	max			min	max			min	max		
-10	81.9	1,155.8	327.3	0.250	141.9	35,910	3,980.5	0.036	339	21,797.3	4,765.6	0.071
0	86.4	1,317.2	355.2	0.243	156.3	35,954	4,004.1	0.039	342.6	21,607.6	4,740.1	0.072
10	87.1	2,147.7	514.0	0.170	157.9	35,853.2	3,985.0	0.040	353.9	21,673.1	4,762.3	0.074
20	98.3	1,905.8	471.9	0.208	162.4	35,737.3	3,969.0	0.041	364.3	21,714	4,779.4	0.076
30	104.4	1,459.3	478.0	0.218	160.8	35,752.9	3,977.5	0.040	369.6	21,755.6	4,794.4	0.077

Table 9 Performance evaluation result of crystal face light-shelf

Light-shelf Type		Angle		Summer				Spring and Fall				Winter			
				Illumination photometry(lx)		Average illumination	Uniformity ratio	Illumination photometry(lx)		Average illumination	Uniformity ratio	Illumination photometry(lx)		Average illumination	Uniformity ratio
				min	max			min	max			min	max		
Case 2	-10	84.9	1,286.2	355.7	0.239	144.2	35,732.7	3,946.2	0.037	341.5	21,614.5	4,725.3	0.072		
	0	81.0	1,223.9	339.9	0.238	154.5	35,714.6	3,945.9	0.039	347.1	21,645.4	4,754.1	0.073		
	10	87.5	1,237.5	347.1	0.252	155.5	35,768.4	3,970.8	0.039	354.8	21,700.7	4,757.8	0.075		
	20	125.1	1,199.2	390.4	0.320	155.7	35,723.5	3,963.6	0.039	364.4	21,694.8	4,774.8	0.076		
	30	91.5	1,210.6	342.1	0.267	164.0	35,766.3	3,973.9	0.041	361.1	21,737.3	4,781.8	0.076		
Case 3	-10	86.6	1,249	342.9	0.253	134.3	35,709.9	3,940.2	0.034	335.8	21,583.8	4,723.2	0.071		
	0	83.6	1,390.7	372.7	0.224	148.3	35,694.9	3,946.1	0.038	344.1	21,751.1	4,759.8	0.072		
	10	88.4	1,196.2	342.4	0.258	153.2	35,738.9	3,958.3	0.039	355.4	21,653.4	4,761	0.075		
	20	125.4	1,291	377.7	0.332	160.5	35,784.4	3,969.4	0.041	362.3	21,696.3	4,772.1	0.076		
	30	87.8	1,189.8	347.9	0.252	172.7	35,811.1	4,012.4	0.043	359.3	21,701.9	4,774.6	0.075		
Case 4	-10	95.2	1,355.9	375.9	0.253	141.5	35,810.1	3,958.7	0.036	335.4	21,676.4	4,735.6	0.071		
	0	94.0	1,551.7	413.4	0.227	151.6	35,755.8	3,956.9	0.038	354.1	21,613.1	4,737.1	0.075		
	10	96.9	1,303.8	374.3	0.259	155.0	35,895	3,991.6	0.039	353.3	21,633.8	4,757.8	0.074		
	20	134.4	1,433.5	415.2	0.311	162.0	35,744.5	3,962.5	0.041	369.2	21,724.0	4,786.4	0.077		
	30	101.1	1,472.4	411	0.243	174.5	35,781.2	3,974.8	0.043	376.0	21,722.0	4,775.9	0.079		

Table 10 Energy consumption according to the optimum angle of light-shelf

Type of Light-shelf (Number of crystal face)	Angle of Light-shelf	Summer		Spring and Fall		Winter		Energy Consumption (kWh)
		Lighting Control : Light number(Dimming level)						
Flat(1)	30	1(8) → 3(5)	30	1(4)	30	1(1)	2.287	
Crystal face(198)	20	1(8) → 3(4)	30	1(3)	20	1(1)	2.118	
Crystal face(264)	20	1(8) → 3(4)	30	1(3)	20	1(1)	2.023	
Crystal face(396)	20	1(8) → 3(3)	30	1(3)	30	1(1)	2.017	

결정면의 수가 증가함에 따라서 균제도가 감소하는 경향을 보여 광선반 설계시 고려해야 할 부분이다.

세 번째, 본 연구는 광선반 성능평가를 진행함에 있

어서 실스케일의 테스트베드에서 진행하였으며, 8단계 제어가 가능한 조명과 연동하여 성능평가를 진행하였다. 그 결과 측정되는 실내 조도 값이 모두 400 lx를

만족하도록 조명제어를 Table 10와 같이 실시하였다. 이에 따라서 조명 전력사용량을 도출하였으며, 결정면 적용 광선반은 기존 평판형 광선반에 대비하여 조명에너지가 7.98%~13.3% 저감이 가능하다. 또한, 결정면의 수의 증가는 조명에너지 저감에 유리하게 분석된다.

4.2 결정면 적용 광선반의 성능평가 논의

결정면 적용 광선반은 빛의 유입과정에서 난반사의 원리가 적용되어서 태양의 방위각 및 고도 등의 외부 환경에 의한 성능저하를 최소화할 수 있으며, 하지의 경우에는 실내 균제도 개선이 가능하다. 또한, Fig. 6에서 나타나듯이 조명에너지 저감에도 적합한 것으로 판단된다. 단, 광선반의 결정면에 의한 반사의 다양한 방향으로 인하여 현휘 발생의 폭이 증가하는 단점이 있어서 결정면 적용 광선반 설계 및 적용시 고려해야 할 부분이다.

5. 결 론

본 연구는 평판형 광선반의 채광성능 개선을 위하여 결정면을 적용한 광선반을 제안하였으며, 평판형 광선반과 채광성능을 비교 및 분석함으로써 그 유효성을 입증하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

첫 번째, 본 연구에서 설정한 성능평가 환경에 따른 평판형 광선반 및 결정면 적용 광선반의 적정 각도는 동지, 하지, 춘추분에 따라서 상이하게 나타나고 있으며, 이는 외부 환경에 대응하여 가동할 수 있는 가동형 광선반 적용이 필요하다.

두 번째, 하지시 결정면 적용 광선반이 설치된 실내공간은 기존 평판형 광선반이 설치된 실내공간에 대비하여 29.9%~34.3%의 균제도 개선을 보이고 있으며, 이는 결정면 적용 광선반의 채광성능 개선의 유효성을 입증

한 결과이다. 단, 광선반 반사판의 결정면 수의 증가는 균제도 감소시키는 경향을 보이며, 이는 결정면 적용 광선반 설계시 고려해야 할 부분이다.

세 번째, 결정면 적용 광선반은 기존 평판형 광선반에 대비하여 조명에너지가 7.98%~13.3% 저감이 가능하며, 광선반 반사판의 결정면 수의 증가는 조명에너지 저감에 적합하게 분석된다.

본 연구는 결정면 적용 광선반을 제안하였으며, 성능평가를 통한 유효성을 입증하였다. 그러나 성능평가간 결정면의 형태를 반복되는 패턴에 의하여 진행하였다는 점은 본 연구의 한계이며, 이후 연구에서는 보다 다양한 형태의 광선반에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

References

1. Back, S. K. and Lee, S. H., 2008, A Study on Lighting Design and Illumination and Luminance of in Advanced type Control Room by the Standard of Ergonomics, Journal of the ergonomics society of Korea, Vol. 27, No. 2, pp. 73-82.
2. Chung, Y. G., 2007, Daylighting Performance Evaluation of window Integrated Light Shelf System, Journal of the Korean Institute of Educational Architecture and Environment, Vol. 7, No. 5, pp. 41-46.
3. Cho, Y. S., 2003. Analysis on Indoor Daylight Performance having Light-shelf system, A Doctoral Dissertation, Graduate School Chungnam National University.
4. Choi, T. J., Lee, S. J., Kim, Y. G., and Kim, H. S., 2001, A Study on the Prediction of Energy Conservation in Apartment Building Utilization by light self, Proceeding of the SAREK Summer Annual Conference II, pp. 971-974.
5. Han, S. P., 2010, A Study on Lighting Control Method for Harmonization of Daylighting and Artificial Lighting, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning and Design, Vol. 26, No. 8, pp. 317-324.
6. Kim, D. W. and Park, C. S., 2009, Performance Assessment of Building Envelopes II : Light Shlef, RetroLux, Proceeding of the KSES 2009 Spring Annual Conference, pp. 83-90.
7. Kim, B. K. and Kim, J. T., 2005, Scale Model Experiment for Daylighting Performance by Lightshelf Types, Journal of the Korean Institute of Educational Architecture and Environment, Vol. 9, pp. 43-50.
8. Kim, S. H., Lee, H. W., Seo, J. H. and Kim, Y. S., 2014, A Study on Light-Shelf System using Location-Awareness Technology for Energy Saving in

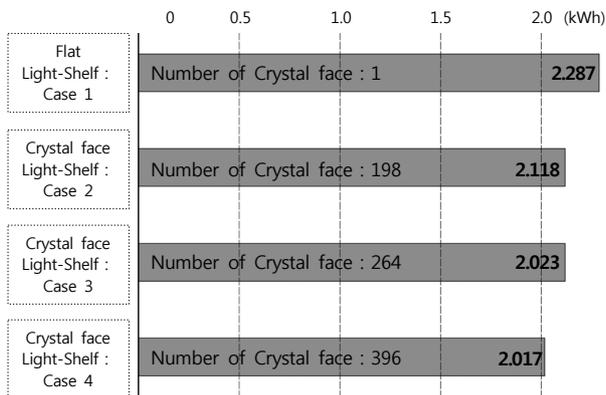


Fig. 6 Energy Consumption according to Light-shelf.

- Residential Space, International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 26, No. 6, pp. 257-286.
9. Lee, H. W. and Lee, S. N., 2011, The Improvement of Uniformity Ratio for Luminous Environment Using Horizontal Light shelf in an Office Building, J. Korean Soc. LIVING ENVIRON. Sys, Vol. 18, No. 1, pp. 145-152.
 10. Lee, H. W., Kim D. S., and Kim, Y. S., 2013, Simulation Study on the Performance Evaluation of Light-shelf focused on the Depth of Space and the Dimensions and Angles of Light-shelf, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning and Design, Vol. 29, No. 3, pp. 335-344.
 11. Park, B. C. Kim, Y. S., Jeong, K. Y., Choi, A. S., and Lee, J. H., 2007, An Fundamental Study on the Interactive System for Daylight Response Dimming System and Indoor Shading Systems, Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea Planning and Design, Vol. 27, No. 1, pp. 989-902.
 12. Park, B. Y. and Choi, C. H., 2011, A Study on Daylighting Performance of an Inner Court with Reflecting Mirror System, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 31, No. 4, pp. 112-121.
 13. Shin, H. G., 2003, Daylighting Performance Evaluation of Light Shelf, Master's Degree, Graduate School KyungHee University.
 14. Yun, G., Sho, D. W., and Kim, K. S., 2011, A Study on Visual Environment Evaluation of Residential Space Using the Radiance Program, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning and Design, Vol. 27, No. 2, pp. 227-234.
 15. Zeier, F., 2009, Papier : Versuche zwischen Geometrie und Spiel, Haupt.