Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering
Vol. 26, No. 4 (2014), pp.181-192
http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2014.26.4.181

천장의 기하학적 형태에 따른 광선반 성능평가 시뮬레이션 연구

Simulation Study on the Performance Evaluation of Light-shelf According to Geometric Shape of Ceiling

이행우(Henagwoo Lee)[1], **김용성**(Yongseong Kim)[1†], **서장후**(Janghoo Seo)[1], **김덕수**(Duk-Su Kim)[2]
[1]국민대학교 테크노디자인전문대학원, [2]한밭대학교 건축학과
[1]*The Graduate School of Techno Design, Kookmin University, Seoul 136-702, Republic of Korea*
[2]*Department of Construction Engineering, Hanbat University, Daejeon 305-719, Republic of Korea*

(Received January 7, 2014; revision received February 14, 2014; Accepted: March 5, 2014)

Abstract Light-shelf is one of the most efficient natural lighting systems due to the improved function of the inflow level of the outdoor natural light. However, the existing research on the light shelf limits to the rectangular parallelepiped space, so do not provide sufficient data for various shapes of spaces. Thus, this study aims at deriving proper plan and relationship of the light shelf through its performance assessment depending on the indoor space shapes and utilizing them as basic data of light shelf design. The conclusions are as follows : 1) for 6m space depth, standard intensity of illumination satisfaction depth has shown 8.3%～26.3% improvement through the adjustment of the angle and width when installing light shelf compared to no light shelf installation; 2) -30°, -20° and -10° light shelves set by this study play only as a blind regardless of the shape of ceiling on the summer solstice, and it is unsuitable; and 3) this study has derived proper plan of light shelf upon space shapes based on energy reduction and indoor evenness. The study results provide expanded data of the performance assessment of the light shelves according to the different space shapes and light shelf factors, which serves as a basis of the light shelves designing.

Key words Spatial(공간 형태), Physical forme(물리적 형태), Light-shelf(광선반), Performance evaluation(성능평가)

† Corresponding author, E-mail: *hvac@sarek.or.kr*

1. 서 론

1.1 연구의 목적

IEA의 World Energy Outlook 2011가 발표한 자료에 의하면 2009년 기준으로 건물이 소비하는 에너지량은 전체 에너지소비량의 34%로 높게 나타났으며, 지속적으로 증가할 것이라 예측하고 있다. 또한 우리나라의 경우에는 전체 에너지 소비량의 24%를 건축물에서 사용하고 있으며, 특히 조명에너지 소비량은 건물 전체 소비에너지의 약 22%를 차지하여 높게 나타나고 있다(김지연, 2007). 이로 인하여 건물에서의 소비에너지 증가의 문제를 해결하기 위한 방안으로 조명에너지 저감 기술 개발 및 연구에 대한 관심이 급증되고 있다. 이중 자연 채광시스템은 그 효율을 인정받아서 다양한 시설에 적용되고 있으며, 이러한 자연 채광시스템 중에서 광선반은 외부의 자연광을 반사를 통하여 실내로 깊숙이 들여 조명에너지 저감을 유도한다는 측면에서 효율성을 검증받아 다양한 측면에서 연구가 진행 중이다. 하지만 광선반에 대한 선행연구는 실내공간의 형태를 직육면체로 고정한 채 단지 광선반의 폭, 높이 및 각도 등의 광선반 변인만을 고려한 성능 검증에 대한 연구만이 이루어졌으며, 재실자와 직접적인 연관이 이루어지는 실내공간의 형태적 특성을 고려되지 않고 있다. 이러한 광선반의 변인에만 집중된 기존 연구는 광선반 설계시 기초자료로써의 역할을 하지 못하며, 재실자의 요구 및 설계자의 의도에 의하여 만들어진 다양한 형태에 대응하지 못하다. 이에 광선반 성능평가에 있어서 직육면체의 일반적인 형태로 실내공간을 고정한 채 진행되어진 기존 연구에 대하여서도 변화가 요구되며, 다양한 공간의 형태에 따른 광선반의 최적화 도출 및 그에 따른 상관관계에 관한 연구는 필요하다.

이에 본 연구는 실내공간 형태에 따른 광선반의 성능평가를 통하여 광선반의 적정안 및 상관관계를 도출하며, 이를 기반으로 광선반 설계 시 기초자료로 활용을 목적으로 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 실내공간 형태에 따른 광선반의 성능 및 상관관계를 도출하기 위하여 다음과 같은 절차에 의해 진행되었다.

첫째, 실내공간 형태와 광선반에 대한 문헌고찰 단계로 관련 연구고찰을 기반으로 진행하였다. 공간의 형태는 광선반이 천장면 반사를 통하여 자연광을 실내로 유입한다는 측면에서 제 2반사가 이루어지는 천장의 기하학적인 형태로 한정하여 연구를 진행하였다. 둘째, 문헌고찰 내용을 통하여 광선반 채광 성능평가를 위한 공간크기와 광선반 관련한 변인을 설정하였다. 셋째, 설정된 환경 및 변인을 기반으로 에너지 시뮬레이션 프로그램을 통하여 광선반 채광 성능평가를 진행하였으며, 실내공간 형태 및 광선반에 대한 성능평가를 위하여 사용된 시뮬레이션 프로그램은 빛 환경 관련 연구와 성능평가에 활용된 Radiance을 사용하였다. 또한 본 연구에서는 데이터의 양이 지나치게 방대하여 발생한 지면의 제약이 발생하였으며, 하지는 태양의 높은 고도로 인하여 동지와 춘추분에 대비하여 실내 깊숙이 자연광이 유입되지 않아서 발생하는 작은 물체 대상의 시작업의 표준조도인 400 lx를 만족하는 공간깊이가 낮게 분석[11]되어서 조명에너지 사용량이 증가 할 수 있다는 내용에 근거하여 하지에 대하여만 진행하였다.

2. 광선반 및 공간형태 고찰을 통한 성능평가 변인설정

2.1 광선반 개념 및 변인

2.1.1 광선반의 개념

광선반은 Fig. 1에서 나타나듯이 실내로 유입되는 자연광을 이용하여 광선반의 반사판에 의한 제 1반사, 실내공간의 천장면에 의한 제 2반사, 벽면 또는 바닥면에 의한 제 3반사의 순서에 의거하여 실내공간의 깊은 곳까지 유입시켜 조명에너지 저감을 유도하는 시스템

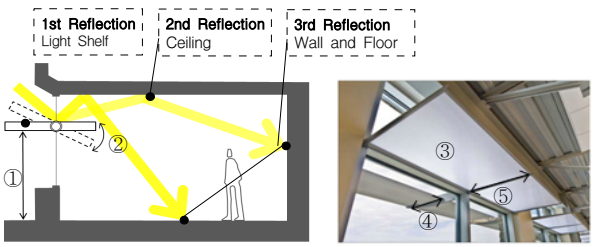


Fig. 1 Concept and application example of Light Shelf.

Table 1 Light Shelf's variable and space-form of previous performance evaluation

Variable of Light Shelf			Scope
Height		①	1.8～2.7 m
Angle		②	0°～75°
Reflexibility		③	50%～95%
Width	external type	④	0.3～1.2 m
	internal type	⑤	0.3～1.5 m
	mixed type	④+⑤	1.0～2.1 m
Interior space-form of Light Shelf's performance evaluation			Rectangular parallelepiped

이다. 본 연구에서 다루고 있는 실내공간 형태에 대한 광선반 채광 성능평가는 제 2반사가 이루어지는 천장면의 기하학적 형태에 따른 성능평가로 그 결과 값에서도 차이를 보일 것이라 판단된다. 또한 광선반은 일사 유입을 차단하는 차양 장치의 역할을 하는 채광시스템으로 설치위치에 따라서 내부형, 외부형, 혼합형으로 분류된다.

2.1.2 광선반 채광 성능평가 관련 변인 고찰

광선반의 성능에 영향을 미치는 변인은 Table 1에서 나타나듯이 광선반 높이, 광선반 각도, 광선반 반사율, 광선반 폭 및 광선반 타입으로 구분 할수 있으며, 각 변인에 대한 적용 범위는 20여건의 기존 광선반 관련 연구에서 성능평가를 위하여 설정한 수치에 대하여 정리하여 제시하였다. 또한 광선반 성능평가를 위하여 설정한 공간의 형태는 채광이 도입되는 면을 제외한 5면이 막힌 직육면체의 형태만을 다루고 있다.

2.2 천장의 기하학적 형태의 고찰 및 분류

실내공간의 형성하는 주요 기본 구성요소는 바닥, 벽, 천장으로 구분 할수 있지만 앞 절에서 고찰한바와 같이 광선반의 성능은 외부의 빛을 실내로 유입되는 과정에서 제 2반사가 이루어지는 천장면의 기하학적 형태에 의하여 영향을 많이 받기에 본 연구에서는 공간의 형태에 대한 성능평가의 변인을 천장의 기하학적 형태로 한정하여 광선반 채광 성능평가를 진행하였다.

본 절에서는 일차적으로 천장면의 기하학적 형태를 고찰하였으며, 이는 이후 천장면의 형태에 따른 변인 설정을 위한 단계로 진행되었다. 또한 천장면의 형태의 분류에 있어서 광선반의 반사면으로서 직접적인 연관이 없는 천장의 타입들에 대해서는 본 연구에서는 제외하였으며, 평천장은 천장에 대응되는 바닥과 크기가 같으며 천장의 높이변화가 없는 가장 일반적인 천

ⓒ SAREK

장형태로, 기존 광선반 성능평가 연구에서 다루고 있으므로 본 연구에서는 제외하였다.

2.2.1 경사천장

경사천장은 일반적인 평천장을 사선으로 변화시킨 형태로써, 지붕형태 및 설계자의 의도에 의하여 만든 것을 모두 포함한다. 본 연구에서는 천장의 경사률에 따라서 광선반의 성능 평가가 요구 된다고 판단하였으며, Fig. 2에서 나타나듯이 채광면을 기준으로 (+)각도 및 (-)각도 타입의 경사로 정의하여 성능평가를 진행하였다.

2.2.2 팔작천장

팔작천장은 건물의 단면상에서 볼 때 여덟 팔(八)자 모양를 취하고 있는 형태로 경사천장의 (-)각도 및 (+)각도과 함께 나타나서 경사천장과는 다른 광선반 성능평과 결과가 예상된다.

2.2.3 피라미드 천장

피라미드 형태와 같이 천장면의 정중앙을 올려 만든 타입으로 실내공간 중심의 천장고 높이에 따른 광선반 에너지 성능평가가 요구된다.

2.2.4 커브(Curve) 천장

활처럼 굽은 형태의 천장형태로 굽은 곡률에 따른 광선반 성능 평가가 요구된다.

2.3 채광 성능평가를 위한 조도 기준

채광 성능평가를 위한 조도 기준은 KS A 3011 조도

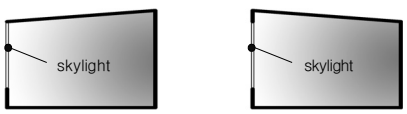


Fig. 2 (+)angle inclined ceiling and (-)angle inclined ceiling.

Table 2 Standard lux

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	1000	1500

기준에 의거하였으며, Table 2에서 나타나듯이 활동유형에 따라서 고휘도 대비 시작업, 일반휘도 대비 시작업, 저휘도 대비 시작업으로 구분된다. 일반휘도의 시작업의 경우에는 거실의 독서, 사무실의 세밀한 일, 연구실의 일반작업 등에 필요한 조도로 최소 300 lx, 최고 600 lx로 제시하고 있으며, 본 연구에서는 광선반 채광성능 평가의 기준을 일반휘도 시작업의 표준조도인 400 lx로 설정하여 진행하였다.

3. 공간형태에 따른 광선반 성능평가 설정 및 분석 방법

3.1 공간형태 및 광선반 변인에 따른 채광 성능평가 변인 설정

3.1.1 공간형태에 따른 성능평가 변인 설정

공간형태에 따른 광선반 채광 성능평가는 채광시스템이 도입되는 면을 제외한 5면이 막힌 형태이며, 공간의 바닥면적의 크기는 내경기준으로 폭 3 m×깊이 3 m와 폭 3 m×깊이 6 m를 설정하였다. 평가 단위공간의 바닥 면적의 설정은 건축계획모듈이 일반적으로 KS기준에 의거하여 3 m의 크기를 단위로 설정한다는 내용을 근거로 하였으며, 실내공간의 높이는 소방시설설치유지 및 안전관리에 관한 법률시행령에 의거하여 산출되는 최소 천장고를 반영하여 2.3 m로 설정하였다. 채광창의 면적은 에너지관리공단의 에너지 절감률 및 경제성 평가에서 설정하고 있는 창면적비 50%를 참고하였으며, 단위공간에 대한 모듈을 통하여 조정한 결과 광선반 성능평가를 위한 창면적비는 52.1%로 2.0 m×1.8 m의 크기로 설정하였다. 또한 창의 위치는 바닥으로부터 0.5 m 위에 정중앙에 위치시켰다.

공간의 형태는 앞서서 언급한 것처럼 천장면의 기하학적인 형태로 간주하였으며, 공간형태에 대한 변인 설정은 Table 3과 같으며, 공간 형태에 따른 천장높이 설정은 실내공간의 최대높이를 300 mm씩 증가시켜가면서 2,450 mm, 2,600 mm, 2,750 mm로 설정하였다. 단, 한 공간에서 높이가 다른 부분이 있을때는 그 평균의 높이를 취하였다.

3.1.2 광선반 성능평가 변인 설정

본 연구에서는 광선반 성능평가 관련 기존 연구들의 변인 설정값을 기반으로 Table 4에서 나타나듯이 다음과 같이 설정하였다. 본 연구의 광선반 평가에 적용된 광선반 높이는 사람의 눈높이를 고려하여 1.8 m를 설정 하였으며, 광선반의 타입은 에너지 저감 성능이 우수하게 평가된 외부형 타입[10]으로 한정하여 진행하였다. 또한 광선반의 폭은 0.3 m 간격으로 각각 0.3～1.2 m로

Table 3 Spatial Variable of Light Shelf's performance evaluation

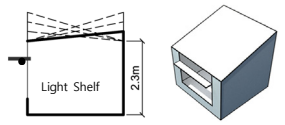
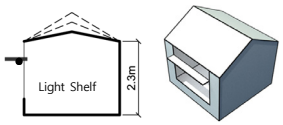
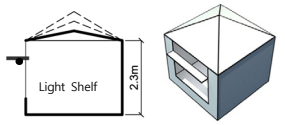
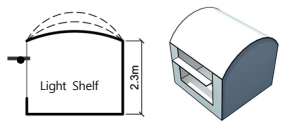
(+)angle inclined ceiling and (-)angle inclined ceiling	Gambrel ceiling
	
Pyramid ceiling	Curve ceiling
	

Table 4 Variable of Light Shelf's performance evaluation

Category	Content	Category	Content
Width (external type)	0.3～1.2 m (0.3 m intervals)	Angle	-30°～30° (10° intervals)
Reflexibility	85.77%	Height	1.8 m

설정하였으며, 공간의 다양한 형태에 대한 광선반 성능을 검증하기 위하여 -30°～30°의 범위에 대하여 10° 구간으로 나누어 성능 평가를 진행하였다. 광선반의 반사율은 발광 알루미나이트 처리된 알루미늄의 반사율인 86%[14]를 근거로 85.77%로 설정하여 통제하였다.

3.2 광선반 성능 평가 환경 설정

본 연구는 앞서서 언급한 것처럼 성능평가 데이터의 양이 지나치게 방대하여 발생한 지면상의 제약과 하지 시 태양의 높은 고도로 인하여 자연광 유입이 깊숙이 유입되지 않아서 조명에너지 사용량이 증가할 수 있다는 점을 근거로 하지에 대하여만 성능평가를 진행하였으며, 천공상태는 Radiance에서 설정이 가능한 'Very clear sky'이며, 시뮬레이션 상에서 도출되는 평균 외부조도는 74573 lx이다. 광선반 채광성능 평가를 위한 공간의 반사율 설정은 Table 5에서 나타나듯이 관련 연구를 근거[1]로 조정한 결과 바닥 25.10%, 벽 55%, 천장 74.99%로 설정하여 진행하였다. 또한, 평가에 설정된 창호의 유리는 Table 6에서 나타나듯이 두께 12 mm의 페어글라스를 사용하였으며, 맑은색의 투과율은 80.82%로 설정하여 광선반의 성능평가를 진행하였다.

3.3 조도계산 위치

조도계산 위치는 작업면 높이 및 관련연구를 근거로

Table 5 Spatial Reflexibility for Light Shelf's performance evaluation

	Floor	Wall	Ceiling
Reflexibility	25.10%	55%	74.99%

Table 6 Glass material for Light Shelf's performance evaluation

Glass material	Color	penetration ratio
thickness 12 mm pair glass(3 mm+6 mm+3 mm)	Clear	80.82%

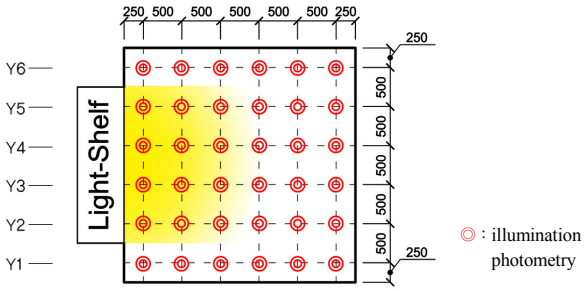


Fig. 3 Illumination photometry for Light Shelf's performance evaluation.

바닥면 위 0.75 m로 설정하였으며, 성능평가를 위한 기준단위 공간에 대하여 Fig. 3에서 나타나듯이 채광면을 기준으로 공간깊이 방향으로 0.5 m 간격으로 6열, 공간 폭의 방향으로 0.5 m 간격으로 총 6열 총 36개의 조도 계산 위치를 설정하였다. 또한 6 m의 공간깊이에 따른 광선반 채광성능 평가에 대하여 36개의 조도 계산 지점을 증가시켰다.

공간깊이에 따른 광선반의 채광성능 분석에 있어서는 광선반의 직접적인 영향을 미치는 Y2열부터 Y5열까지 해당하는 지점의 조도 평균으로 계산하여 분석하였으며, 균제도를 산출하기 위해서는 Y1열과 Y6열을 포함한 모든 지점의 값들을 대하여 적용하였다. 또한 본 연구에서는 균제도는 평균조도치에 대한 최소 조도치로 산출하였다.

3.4 공간형태 및 광선반에 따른 성능평가 분석 방법

3.4.1 표준조도 만족 깊이, 평균조도 및 균제도

공간형태 및 광선반의 설정 변인에 의한 성능평가는 앞서서 설정한 변인에 의하여 나타나는 조도값을 도출하였으며, 일반 휘도 대비, 작은 물체 대상의 시작업 시 표준조도인 400 lx를 만족하는 공간깊이를 도출

ⓒ SAREK

하였다. 또한 앞서서 설정한 조도 측정 위치를 근거로 공간형태 및 광선반 변인에 의하여 나타나는 실내공간의 평균조도 및 균제도를 도출함으로써 광선반의 채광성능평가를 진행하였다.

3.4.2 공간 형태에 따른 빛의 유입 및 반사 형태

광선반은 외부의 자연광을 광선반의 반사면-실내공간의 천장면의 반사를 통하여 내부 깊숙이 유입시켜 실내 빛환경 개선을 유도하기 때문에 실내공간에서 첫 번째 반사가 이루어지는 천장면의 형태는 광선반의 성능과 직결되는 중요한 요소이다. 이에 천장면의 형태와 광선반의 변인들에 의한 빛의 유입 및 반사 형태 도출을 하였다.

3.4.3 Light Shelf에 의한 차양면적 및 반사면적

앞서서 언급한 것처럼 광선반은 반사에 의한 빛의 유입과 동시에 차양의 역할을 동시에 하고 있다. 이에 본 연구는 광선반에 의하여 차양되는 실내의 바닥면적을 차양면적, 광선반 폭에 의해서 결정되는 반사판의 면적 중 반사로 인하여 직접적으로 자연광을 실내로 유입시키는 부분을 반사면적으로 정의하였으며, 공간형태 및 광선반에 의한 채광성능 분석을 위하여 차양면적 및 반사면적을 도출하였다.

본 연구는 실내공간 형태를 정의함에 있어서 천장면의 형태로 국한하였기 때문에 차양면적과 반사면적은 실내공간 형태의 변화에 의해서 차이가 나지 않으며, 광선반의 변인에 의해서는 차양면적의 차이를 보인다. 광선반에 의해서 나타나는 차양면적과 반사면적은 실내공간의 균제도 및 실내로 유입되는 광량과도 관련이 있어 중요한 요소라고 판단하며, 이에 본 연구에서는 광선반 변인에 따른 차양면적을 도출하여 광선반 성능평가의 분석 자료로 이용하였다.

4. 공간형태와 광선반의 성능의 관계 도출

4.1 공간형태 및 광선반 변인에 따른 성능 평가 결과

4.1.1 (+)각도 경사천장 형태에 따른 광선반 성능 평가

Table 7에서 나타나듯이 하지 시 -30˚, -20˚, -10˚의 광선반 각도에 의한 빛의 유입 및 반사 형태를 볼 때 실내로 유입되는 자연광은 천장의 형태와 상관없이 바닥으로 유입된다. 이는 광선반 반사면과 천장면의 반사에 의하여 빛이 실내 깊숙이 유입시키는 광선반의 역할을 하지 못하며, 단지 차양만 이루어지고 있어서 채광성능 개선에 불합리한 결과를 보일 것이라 판단한다.

Table 7 Inflow and reflection of light based on the light shelf ranges between -10˚ and -30˚ during summer solstice

Angle -30˚	Angle -20˚	Angle -10˚

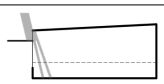
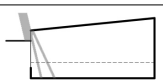
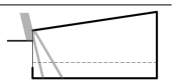
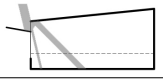
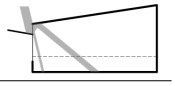
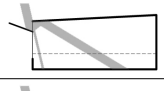
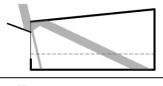
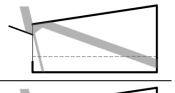
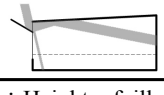
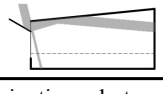
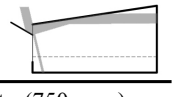
이는 -30˚, -20˚, -10˚의 광선반 설치시 빛의 유입 및 반사 과정에서 천장면의 반사가 이루어지지 않으므로 다른 형태의 천장 타입에서도 광선반 설치에 의한 채광성능 개선은 천장면의 형태는 무관할 것으로 판단된다.

(+)각도 경사천장 형태 및 광선반 변인에 의한 성능 평가는 다음과 같다.

첫째, 하지 시 공간깊이 3 m의 (+)각도 경사천장 형태는 광선반 설치 유무에 상관없이 표준조도를 만족하는 공간깊이가 3 m로 동일하게 나타나고 있어서 광선반을 통한 채광 성능 개선은 없을 것이라 판단된다. 공간깊이 6 m의 (+)각도 경사천장 형태는 광선반 미설치 시 표준조도를 만족하는 공간깊이는 Table 11에서 나타나듯이 실내 천장높이 2.45 m, 2.6 m, 2.75 m에 따라서 2.75 m, 2.75 m, 2.25 m로 나타나며, 광선반 설치 시 폭과 각도의 변화에 따라서 3.25 m, 3.25 m, 2.75 m로 표준조도를 만족하는 공간깊이가 8.3% 증가하였다. 특히 표준조도 만족깊이는 Table 8에서 나타나듯이 천장높이가 증가함에 따라서 증가하며, 광선반의 폭과 각도의 증가는 표준조도 만족깊이 개선에 유리하게 나타난다.

둘째, 광선반 설치시 실내공간의 조도평균은 광선반의 차양에 의하여 미설치시 대비하여 낮게 나타난다.

Table 8 Inflow and reflection of light based on the (+)angle inclined ceiling during summer solstice

Angle	Ceiling height 2,450 mm	Ceiling height 2,600 mm	Ceiling height 2,750 mm
0˚			
10˚			
20˚			
30˚			

-------- : Height of illumination photometry(750 mm).

또한. 광선반의 폭과 각도의 증가는 실내 조도평균을 증가시키는 경향을 보인다. 단, 하지 시 광선반에 의한 빛의 유입 및 반사에서 나타나듯이 광선반 각도 30°는 본 연구에서 설정한 광선반의 다른 각도에 비하여 빛을 깊숙이 유입시키며 제 3반사가 조도 측정 높이보다 높은 지점에서 이루어져 조도평균이 낮아지는 경우도 발생한다.

셋째, Table 9과 Table 10에서 나타나듯이 광선반의 폭과 각도의 증가는 차양면적 및 반사면적을 비례하여 증가시키지는 않으나 증가하는 경향으로 인하여 균제도를 높인다. 단, 광선반 각도 -30°, -20°, -10°의 경우에는 앞서서 언급한 것처럼 빛의 반사에 유입이 발생하지 않아서 다른 각도에 비하여 낮은 균제도를 보이고 있으며, 광선반 폭이 증가함에 따라서 균제도는 낮아져 채광성능에 부적합하다.

넷째, 광선반 설치에 따른 표준조도 만족깊이 개선 및 균제도 개선의 측면에서 (+)각도 경사천장 형태시 천장높이에 상관없이 광선반 폭 1.2 및 광선반 각도 30°의 광선반이 최적의 형태로 도출된다. 단 천장높이 2,750 mm의 경우에는 광선반 미설치 시 대비하여 광선반 폭 0.3 m 이상 및 각도 -20° 이상인 경우에는 표준조도 만족깊이에 관련하여 개선을 보여 적용고려 변인으로 판단된다.

Table 9 Shaded area based on the Width and Angle of Light Shelf during summer solstice

Light Shelf		shaded area(㎡)	Light Shelf		shaded area(㎡)
Width(m)	Angle		Width(m)	Angle	
0.3	-30°	0.592	0.6, 0.9, 1.2	-30°, -20°, -10°, 0°, 10°, 20°, 30°	0.624
	-20°	0.613			
	-10°	0.616			
	0°	0.600			
	10°	0.566			
	20°	0.514			
	30°	0.447			

Table 10 Reflection area based on the Width and Angle of Light Shelf during summer solstice

Light Shelf		reflection area(㎡)	Light Shelf		reflection area(㎡)
Width(m)	Angle		Width(m)	Angle	
0.3	-30°	0.000	0.6, 0.9, 1.2	-30°	0.000
	-20°	0.000		-20°	0.000
	-10°	0.000		-10°	0.000
	0°	0.240		0°	0.240
	10°	0.600		10°	0.602
	20°	0.600		20°	0.964
	30°	0.600		30°	1.200

4.2.2 (-)각도 경사천장 형태에 따른 광선반 성능평가

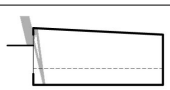
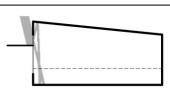
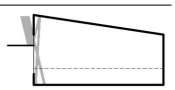
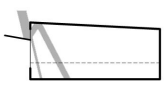
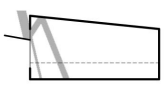
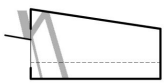
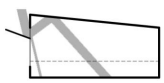
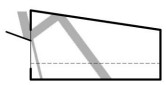
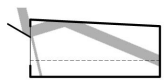
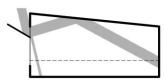
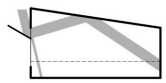
(-)각도 경사천장 형태 및 광선반 변인에 의한 성능평가는 다음과 같다.

첫째, 하지 시 공간깊이 3 m의 (-)각도 경사천장 형태는 광선반 설치 유무와 상관없이 표준조도를 만족하는 공간깊이는 3 m로 나타난다. 또한, 공간깊이 6 m의 (-)각도 경사천장 형태는 광선반 미설치 시 표준조도를 만족하는 공간깊이는 실내 천장높이 2.45 m, 2.6 m, 2.75 m에 따라서 동일하게 2.75 m로 나타나며, 광선반 설치 시 폭과 각도의 변화에 따라서 3.25 m로 표준조도를 만족하는 공간깊이는 8.3% 증가하였다.

둘째, 광선반 설치시 실내공간의 조도평균은 미설치 시 대비하여 낮게 분석되며, 이는 하지의 높은 조도의 빛을 차양함으로써 발생하는 결과로 판단된다. 또한 광선반의 폭과 각도의 증가는 실내 조도평균을 증가시키는 경향을 보이며, Table 12에서 나타나듯이 (+)각도 경사천장과 동일하게 광선반 각도 30°는 본 연구에서 설정한 광선반의 다른 각도에 비하여 빛을 깊숙이 유입시키며 제 3반사가 높은 지점에서 이루어져 경우에 따라서 조도평균이 낮아지는 현상도 발생한다.

셋째, Table 11에서 나타나듯이 광선반의 각도의 증가는 반사면적 증가 및 깊숙이 자연광을 유입시켜 균제도를 높이는 경향을 보인다. 또한 천장 높이의 증가는 빛의 유입깊이를 증가시켜 균제도를 증가시킨다.

Table 11 Inflow and reflection of light based on the (-)angle inclined ceiling during summer solstice

Angle	Ceiling height 2,450 mm	Ceiling height 2,600 mm	Ceiling height 2,750 mm
0°			
10°			
20°			
30°			

-------- : Height of illumination photometry(750 mm).

ⓒ SAREK

Table 12 Light Shelf performance evaluation based on the (+)angle inclined ceiling and (-)angle inclined ceiling during summer solstice

(+)angle inclined ceiling																			
		Ceiling height 2,450 mm						Ceiling height 2,600 mm						Ceiling height 2,750 mm					
		Spatial depth 3m			Spatial depth 6m			Spatial depth 3m			Spatial depth 6m			Spatial depth 3m			Spatial depth 6m		
W	A	Ⓢ	Ⓐ	Ⓤ	Ⓢ	Ⓐ	Ⓤ	Ⓢ	Ⓐ	Ⓤ	Ⓢ	Ⓐ	Ⓤ	Ⓢ	Ⓐ	Ⓤ	Ⓢ	Ⓐ	Ⓤ
N		3.00	3674	0.120	2.75	1918	0.051	3.00	3630	0.119	2.75	1899	0.050	3.00	3591	0.117	2.25	1889	0.054
0.3	-30	3.00	1030	0.396	2.25	582	0.158	3.00	989	0.418	2.25	572	0.160	3.00	947	0.427	2.25	559	0.161
	-20	3.00	1085	0.407	2.75	616	0.148	3.00	1037	0.412	2.75	602	0.161	3.00	1000	0.418	2.75	594	0.161
	-10	3.00	1140	0.396	2.75	639	0.147	3.00	1081	0.407	2.75	630	0.152	3.00	1038	0.406	2.75	615	0.164
	0	3.00	1177	0.397	2.75	658	0.152	3.00	1113	0.399	2.75	648	0.150	3.00	1066	0.417	2.75	638	0.165
	10	3.00	1199	0.391	2.75	676	0.147	3.00	1144	0.400	2.75	666	0.152	3.00	1078	0.408	2.75	647	0.150
	20	3.00	1211	0.406	2.75	692	0.156	3.00	1156	0.409	2.75	672	0.160	3.00	1100	0.419	2.75	655	0.163
	30	3.00	1208	0.408	2.75	695	0.160	3.00	1152	0.420	2.75	673	0.175	3.00	1093	0.429	2.75	660	0.170
0.6	-30	3.00	1064	0.390	2.75	599	0.145	3.00	1024	0.403	2.25	587	0.144	3.00	984	0.406	2.25	579	0.155
	-20	3.00	1155	0.384	2.75	649	0.138	3.00	1109	0.388	2.75	639	0.133	3.00	1062	0.397	2.75	623	0.149
	-10	3.00	1225	0.379	2.75	697	0.133	3.00	1180	0.390	2.75	679	0.137	3.00	1128	0.405	2.75	663	0.149
	0	3.00	1294	0.381	2.75	727	0.132	3.00	1225	0.395	2.75	710	0.149	3.00	1170	0.405	2.75	696	0.149
	10	3.00	1319	0.375	2.75	751	0.131	3.00	1253	0.391	2.75	729	0.142	3.00	1190	0.400	2.75	715	0.154
	20	3.00	1332	0.389	2.75	761	0.149	3.00	1266	0.402	2.75	743	0.159	3.00	1192	0.414	2.75	725	0.166
	30	3.00	1324	0.414	2.75	757	0.163	3.00	1247	0.434	2.75	740	0.168	3.00	1173	0.438	2.75	715	0.170
0.9	-30	3.00	1081	0.379	2.75	610	0.135	3.00	1033	0.375	2.25	599	0.129	3.00	999	0.385	2.25	581	0.140
	-20	3.00	1199	0.374	2.75	669	0.129	3.00	1140	0.386	2.75	655	0.135	3.00	1104	0.393	2.75	649	0.132
	-10	3.00	1276	0.371	2.75	716	0.125	3.00	1219	0.382	2.75	707	0.135	3.00	1172	0.394	2.75	694	0.143
	0	3.00	1350	0.378	2.75	759	0.132	3.00	1280	0.376	2.75	743	0.142	3.00	1224	0.397	2.75	730	0.147
	10	3.00	1384	0.382	2.75	786	0.136	3.00	1315	0.399	2.75	761	0.145	3.00	1228	0.396	2.75	745	0.149
	20	3.00	1383	0.394	2.75	786	0.161	3.00	1296	0.400	2.75	770	0.181	3.00	1229	0.410	2.75	745	0.159
	30	3.00	1360	0.428	3.25	781	0.172	3.00	1282	0.429	2.75	755	0.167	3.00	1202	0.455	2.75	740	0.184
1.2	-30	3.00	1088	0.356	3.25	611	0.120	3.00	1042	0.369	2.25	601	0.123	3.00	1011	0.367	2.25	589	0.129
	-20	3.00	1212	0.362	2.75	683	0.129	3.00	1168	0.370	2.75	670	0.130	3.00	1118	0.382	2.75	653	0.131
	-10	3.00	1314	0.362	2.75	736	0.127	3.00	1258	0.384	2.75	722	0.126	3.00	1205	0.388	2.75	709	0.139
	0	3.00	1376	0.366	2.75	779	0.132	3.00	1312	0.372	2.75	769	0.136	3.00	1242	0.397	2.75	746	0.136
	10	3.00	1407	0.368	2.75	800	0.134	3.00	1331	0.391	2.75	785	0.139	3.00	1253	0.393	2.75	763	0.154
	20	3.00	1395	0.389	2.75	792	0.162	3.00	1311	0.397	2.75	780	0.157	3.00	1242	0.406	2.75	754	0.181
	30	3.00	1373	0.435	3.25	796	0.203	3.00	1301	0.447	3.25	770	0.184	3.00	1229	0.488	2.75	755	0.201
(-)angle inclined ceiling																			
N		3.00	3681	0.129	2.75	1907	0.048	3.00	3638	0.127	2.75	1878	0.059	3.00	3607	0.129	2.75	1857	0.060
0.3	-30	3.00	1039	0.417	2.75	571	0.174	3.00	990	0.456	2.75	546	0.165	3.00	942	0.453	2.75	533	0.198
	-20	3.00	1090	0.409	2.75	615	0.142	3.00	1032	0.448	2.75	574	0.172	3.00	995	0.458	2.75	553	0.177
	-10	3.00	1141	0.417	2.75	634	0.141	3.00	1074	0.437	2.75	607	0.177	3.00	1022	0.456	2.75	565	0.193
	0	3.00	1182	0.401	2.75	651	0.154	3.00	1103	0.437	2.75	617	0.166	3.00	1056	0.460	2.75	579	0.154
	10	3.00	1209	0.419	2.75	666	0.147	3.00	1124	0.437	2.75	635	0.168	3.00	1085	0.461	2.75	606	0.191
	20	3.00	1229	0.424	2.75	677	0.149	3.00	1154	0.447	2.75	647	0.183	3.00	1106	0.458	2.75	604	0.196
	30	3.00	1238	0.431	2.75	681	0.158	3.00	1159	0.465	3.25	650	0.147	3.00	1104	0.479	3.25	622	0.184
0.6	-30	3.00	1072	0.414	2.75	597	0.140	3.00	1009	0.414	2.75	567	0.170	3.00	970	0.454	2.75	532	0.174
	-20	3.00	1161	0.396	2.75	637	0.134	3.00	1082	0.433	2.75	616	0.117	3.00	1045	0.443	2.75	579	0.172
	-10	3.00	1227	0.386	2.75	689	0.126	3.00	1153	0.434	2.75	639	0.149	3.00	1099	0.458	2.75	618	0.144
	0	3.00	1289	0.402	2.75	724	0.145	3.00	1201	0.425	3.25	675	0.158	3.00	1156	0.461	3.25	644	0.172
	10	3.00	1327	0.399	2.75	739	0.146	3.00	1238	0.446	3.25	690	0.167	3.00	1183	0.462	3.25	658	0.179
	20	3.00	1351	0.415	3.25	743	0.171	3.00	1256	0.459	3.25	699	0.158	3.00	1213	0.475	3.25	665	0.180
	30	3.00	1321	0.430	3.25	749	0.174	3.00	1264	0.483	3.25	701	0.171	3.00	1196	0.532	3.25	673	0.184
0.9	-30	3.00	1090	0.404	2.75	602	0.132	3.00	1024	0.423	2.75	562	0.145	3.00	974	0.437	2.75	540	0.159
	-20	3.00	1190	0.391	2.75	663	0.121	3.00	1124	0.416	2.75	628	0.139	3.00	1068	0.424	2.75	587	0.171
	-10	3.00	1271	0.391	2.75	710	0.144	3.00	1228	0.419	2.75	665	0.158	3.00	1152	0.428	2.75	642	0.167
	0	3.00	1357	0.398	3.25	765	0.132	3.00	1257	0.419	3.25	706	0.158	3.00	1202	0.447	3.25	671	0.161
	10	3.00	1387	0.406	3.25	772	0.144	3.00	1316	0.443	3.25	719	0.159	3.00	1243	0.461	3.25	691	0.180
	20	3.00	1415	0.420	3.25	780	0.146	3.00	1312	0.437	3.25	728	0.178	3.00	1253	0.483	3.25	697	0.198
	30	3.00	1393	0.465	3.25	786	0.187	3.00	1305	0.479	3.25	730	0.208	3.00	1237	0.508	3.25	692	0.202
1.2	-30	3.00	1092	0.384	2.75	610	0.130	3.00	1023	0.407	2.75	581	0.147	3.00	978	0.408	2.75	547	0.144
	-20	3.00	1217	0.390	2.75	683	0.109	3.00	1146	0.398	2.75	640	0.149	3.00	1088	0.421	2.75	609	0.157
	-10	3.00	1331	0.380	2.75	725	0.114	3.00	1241	0.405	2.75	685	0.144	3.00	1176	0.428	3.25	651	0.147
	0	3.00	1396	0.391	3.25	762	0.127	3.00	1296	0.424	3.25	722	0.152	3.00	1238	0.457	3.25	682	0.158
	10	3.00	1431	0.398	3.25	792	0.150	3.00	1343	0.428	3.25	735	0.156	3.00	1278	0.459	3.25	704	0.180
	20	3.00	1419	0.421	3.25	789	0.165	3.00	1327	0.468	3.25	747	0.198	3.00	1276	0.472	3.25	703	0.212
	30	3.00	1405	0.450	3.25	799	0.186	3.00	1312	0.513	3.25	742	0.217	3.00	1269	0.543	3.25	704	0.184

W : Width of Light Shelf, A : Angle of Light Shelf, N : Light Shelf not installed.
Ⓢ : Standard illuminance satisfaction degree(m), Ⓐ : Average illuminance, Ⓤ : Uniformity factor.
: This indicates lower score than the value estimated with no Light shelf installed, Bold : Ceiling value of uniformity factor.

Table 13 Light Shelf performance evaluation based on the Gambrel ceiling and Pyramid ceiling during summer solstice

		Gambrel ceiling																	
		Ceiling height 2,450 mm						Ceiling height 2,600 mm						Ceiling height 2,750 mm					
		Spatial depth 3 m			Spatial depth 6 m			Spatial depth 3 m			Spatial depth 6 m			Spatial depth 3 m			Spatial depth 6 m		
W	A	Ⓢ	Ⓐ	Ⓤ	Ⓢ	Ⓐ	Ⓤ	Ⓢ	Ⓐ	Ⓤ	Ⓢ	Ⓐ	Ⓤ	Ⓢ	Ⓐ	Ⓤ	Ⓢ	Ⓐ	Ⓤ
N		3.00	3684	0.131	2.75	1915	0.057	3.00	3642	0.131	2.75	1896	0.058	3.00	3601	0.130	2.75	1886	0.064
0.3	-30	3.00	1039	0.442	2.75	583	0.171	3.00	992	0.459	2.75	570	0.187	3.00	947	0.471	2.25	555	0.206
	-20	3.00	1092	0.435	2.75	618	0.162	3.00	1043	0.455	2.75	600	0.184	3.00	997	0.457	2.75	580	0.198
	-10	3.00	1142	0.431	2.75	644	0.159	3.00	1083	0.453	2.75	623	0.179	3.00	1029	0.473	2.75	600	0.198
	0	3.00	1181	0.431	2.75	661	0.159	3.00	1115	0.457	2.75	640	0.180	3.00	1050	0.467	2.75	621	0.189
	10	3.00	1197	0.432	2.75	674	0.164	3.00	1140	0.456	2.75	657	0.186	3.00	1081	0.469	2.75	635	0.200
	20	3.00	1233	0.437	2.75	689	0.164	3.00	1154	0.453	2.75	667	0.189	3.00	1095	0.472	2.75	643	0.209
	30	3.00	1223	0.446	2.75	691	0.174	3.00	1164	0.465	2.75	666	0.204	3.00	1101	0.482	2.75	643	0.212
0.6	-30	3.00	1075	0.428	2.75	598	0.152	3.00	1024	0.439	2.75	583	0.178	3.00	973	0.456	2.25	567	0.189
	-20	3.00	1162	0.412	2.75	649	0.158	3.00	1109	0.442	2.75	637	0.171	3.00	1046	0.454	2.75	615	0.187
	-10	3.00	1247	0.413	2.75	691	0.154	3.00	1172	0.439	2.75	671	0.165	3.00	1109	0.463	2.75	649	0.183
	0	3.00	1295	0.416	2.75	720	0.152	3.00	1225	0.445	2.75	704	0.173	3.00	1146	0.463	2.75	678	0.185
	10	3.00	1343	0.414	2.75	747	0.152	3.00	1270	0.444	2.75	727	0.176	3.00	1185	0.474	2.75	695	0.185
	20	3.00	1343	0.435	2.75	755	0.174	3.00	1271	0.458	3.25	731	0.198	3.00	1181	0.483	3.25	699	0.199
	30	3.00	1329	0.439	3.25	753	0.173	3.00	1258	0.486	3.25	731	0.202	3.00	1188	0.508	3.25	706	0.238
0.9	-30	3.00	1085	0.401	2.75	604	0.147	3.00	1036	0.421	2.75	590	0.158	3.00	994	0.448	2.25	578	0.179
	-20	3.00	1204	0.392	2.75	667	0.136	3.00	1139	0.424	2.75	652	0.155	3.00	1063	0.442	2.75	635	0.168
	-10	3.00	1289	0.403	2.75	717	0.148	3.00	1232	0.434	2.75	700	0.165	3.00	1144	0.451	2.75	677	0.168
	0	3.00	1360	0.410	2.75	755	0.147	3.00	1277	0.437	2.75	738	0.165	3.00	1198	0.447	2.75	708	0.174
	10	3.00	1403	0.420	3.25	788	0.149	3.00	1314	0.453	3.25	758	0.171	3.00	1226	0.464	3.25	722	0.191
	20	3.00	1400	0.431	3.25	791	0.184	3.00	1318	0.470	3.25	758	0.193	3.00	1229	0.503	3.25	725	0.218
	30	3.00	1373	0.458	3.25	782	0.193	3.00	1298	0.520	3.25	748	0.235	3.00	1222	0.523	3.25	721	0.264
1.2	-30	3.00	1091	0.392	2.75	606	0.130	3.00	1046	0.407	2.75	601	0.156	3.00	991	0.426	2.25	578	0.164
	-20	3.00	1210	0.383	2.75	681	0.133	3.00	1163	0.404	2.75	662	0.148	3.00	1099	0.433	2.75	645	0.173
	-10	3.00	1324	0.392	2.75	742	0.142	3.00	1259	0.421	2.75	716	0.159	3.00	1169	0.444	2.75	696	0.172
	0	3.00	1400	0.412	2.75	776	0.140	3.00	1316	0.441	2.75	753	0.153	3.00	1229	0.465	2.75	722	0.180
	10	3.00	1435	0.420	3.25	793	0.146	3.00	1340	0.460	3.25	759	0.180	3.00	1254	0.476	3.25	744	0.197
	20	3.00	1427	0.451	3.25	798	0.176	3.00	1338	0.465	3.25	762	0.196	3.00	1256	0.506	3.25	739	0.221
	30	3.00	1408	0.477	3.25	798	0.210	3.00	1304	0.506	3.25	762	0.230	3.00	1232	0.539	3.25	737	0.265
		Pyramid ceiling																	
N		3.00	3714	0.130	2.75	1931	0.054	3.00	3689	0.132	2.75	1925	0.059	3.00	3662	0.131	2.75	1914	0.058
0.3	-30	3.00	1071	0.434	2.75	601	0.166	3.00	1045	0.446	2.75	589	0.174	3.00	1007	0.476	2.75	586	0.190
	-20	3.00	1125	0.416	2.75	628	0.158	3.00	1092	0.441	2.75	628	0.167	3.00	1054	0.469	2.75	616	0.182
	-10	3.00	1172	0.422	2.75	657	0.147	3.00	1131	0.441	2.75	653	0.176	3.00	1106	0.457	2.75	633	0.191
	0	3.00	1213	0.416	2.75	679	0.164	3.00	1167	0.445	2.75	670	0.169	3.00	1132	0.457	2.75	660	0.181
	10	3.00	1227	0.426	2.75	694	0.163	3.00	1206	0.451	2.75	686	0.169	3.00	1163	0.465	2.75	679	0.185
	20	3.00	1261	0.420	2.75	703	0.161	3.00	1234	0.453	2.75	700	0.188	3.00	1182	0.474	2.75	678	0.190
	30	3.00	1256	0.430	2.75	708	0.166	3.00	1228	0.466	3.25	708	0.185	3.00	1185	0.477	3.25	684	0.201
0.6	-30	3.00	1100	0.415	2.75	601	0.162	3.00	1069	0.440	2.75	608	0.167	3.00	1035	0.462	2.75	600	0.183
	-20	3.00	1193	0.403	2.75	652	0.158	3.00	1162	0.431	2.75	661	0.167	3.00	1126	0.436	2.75	647	0.176
	-10	3.00	1271	0.398	2.75	691	0.152	3.00	1233	0.436	2.75	705	0.164	3.00	1199	0.449	2.75	692	0.165
	0	3.00	1329	0.415	2.75	738	0.144	3.00	1299	0.431	2.75	732	0.155	3.00	1249	0.463	3.25	724	0.162
	10	3.00	1381	0.410	2.75	746	0.151	3.00	1341	0.446	3.25	759	0.168	3.00	1270	0.473	3.25	740	0.176
	20	3.00	1399	0.418	2.75	752	0.171	3.00	1357	0.458	3.25	771	0.162	3.00	1298	0.475	3.25	753	0.199
	30	3.00	1378	0.442	3.25	751	0.183	3.00	1330	0.474	3.25	763	0.189	3.00	1294	0.499	3.25	752	0.217
0.9	-30	3.00	1114	0.397	2.75	605	0.135	3.00	1085	0.427	2.75	617	0.157	3.00	1047	0.436	2.75	604	0.168
	-20	3.00	1235	0.400	2.75	666	0.136	3.00	1199	0.425	2.75	681	0.152	3.00	1160	0.436	2.75	666	0.155
	-10	3.00	1323	0.393	2.75	719	0.147	3.00	1308	0.422	3.25	814	0.162	3.00	1232	0.445	2.75	715	0.164
	0	3.00	1398	0.401	2.75	754	0.151	3.00	1361	0.432	3.25	766	0.156	3.00	1306	0.456	3.25	760	0.169
	10	3.00	1439	0.411	2.75	785	0.145	3.00	1389	0.439	3.25	801	0.166	3.00	1342	0.470	3.25	785	0.175
	20	3.00	1449	0.422	3.25	784	0.181	3.00	1405	0.456	3.25	800	0.175	3.00	1565	0.513	3.25	786	0.200
	30	3.00	1428	0.457	3.25	784	0.188	3.00	1387	0.492	3.25	788	0.221	3.00	1326	0.513	3.75	789	0.232
1.2	-30	3.00	1119	0.382	2.75	606	0.130	3.00	1091	0.414	2.75	617	0.134	3.00	1061	0.420	2.75	610	0.156
	-20	3.00	1249	0.386	2.75	682	0.134	3.00	1219	0.405	2.75	694	0.144	3.00	1180	0.436	2.75	680	0.155
	-10	3.00	1365	0.389	2.75	742	0.142	3.00	1320	0.411	2.75	751	0.147	3.00	1270	0.434	3.25	743	0.159
	0	3.00	1454	0.397	2.75	776	0.140	3.00	1391	0.431	3.25	790	0.152	3.00	1329	0.448	3.25	774	0.169
	10	3.00	1478	0.414	3.25	793	0.146	3.00	1451	0.445	3.25	810	0.163	3.00	1374	0.455	3.25	844	0.173
	20	3.00	1475	0.421	3.25	798	0.176	3.00	1423	0.459	3.25	815	0.193	3.00	1376	0.489	3.25	798	0.215
	30	3.00	1452	0.473	3.25	798	0.210	3.00	1401	0.510	3.75	816	0.210	3.00	1343	0.538	3.75	793	0.243

W : Width of Light Shelf, A : Angle of Light Shelf, N : Light Shelf not installed.
Ⓢ : Standard illuminance satisfaction degree(m), Ⓐ : Average illuminance, Ⓤ : Uniformity factor.
: This indicates lower score than the value estimated with no Light shelf installed, Bold : Ceiling value of uniformity factor.

ⓒ SAREK

넷째, 하지의 광선반 설치에 따른 표준조도 만족깊이 및 균제도 개선의 측면에서 (-)각도 경사천장 형태시 폭 0.6 m 이상과 각도 20° 이상의 광선반이 적정 형태로 도출되며, 폭과 각도는 증가할수록 채광성능이 높아진다. 또한 광선반 설치시 (+)각도 경사천장과 대비하여 채광성능 개선이 발생하는 광선반 변인이 많아져 광선반 설계 시 유리할 것이라 판단된다.

4.1.3 팔작천장 형태에 따른 광선반 성능평가

팔작천장 형태 및 광선반 변인에 의한 성능평가는 다음과 같다.

첫째, Table 13에서 나타나듯이 하지 시 공간깊이 3 m의 팔작천장 형태는 광선반 설치 및 미설치에 따라서 표준조도를 만족하는 공간깊이는 경사천장과 동일하게 3 m로 나타난다. 공간깊이 6 m의 팔작천장 형태는 광선반 미설치 시 표준조도를 만족하는 공간깊이는 실내 천장높이 2.45 m, 2.6 m, 2.75 m에 따라서 동일하게 2.75 m로 나타나며, 광선반 설치시 폭과 각도의 변화에 따라서 3.25 m로 표준조도를 만족하는 공간깊이는 8.3% 증가하여 에너지 저감 효율을 보일것이라 판단된다. 팔작천장 형태는 천장높이가 증가함에 따라서 자연광을 깊숙이 유입시키기에 적합하며, 광선반의 폭과 각도의 증가는 표준조도 만족깊이 개선에 유리하게 분석된다.

둘째, 광선반 설치시 실내공간의 평균조도는 미설치 시 대비하여 낮게 분석되며, 천장의 높이가 증가함에 따라서 실내공간의 평균조도도 낮아지고 있다. 반면 광선반의 폭의 증가는 차양면적의 증가로 인하여 실내공간의 평균조도를 낮게 만들며, 광선반의 각도의 증가는 유입되는 광량을 증가시켜 평균조도를 높이는 경향을 보인다. 단, 광선반 각도 30°는 자연광을 실내 깊숙이 유입시켜 표준조도 만족깊이의 개선을 보이지만 반사의 형태로 인하여 평균조도는 낮게 분석된다.

셋째, (-)경사 천장 형태 및 광선반 설치에 따라서 나타는 균제도는 광선반 폭에 상관없이 각도 30°가 높게 나타나는 경향을 보인다.

넷째, 광선반 설치에 따른 표준조도 만족깊이 개선 및 균제도 개선의 측면에서 팔작천장 형태시 천장 높이 2.45 m, 2.6 m, 2.75 m 따라서 폭 0.6 m 이상 각도 20° 이상이 적정안으로 도출되나, 광선반 폭이 증가함에 따라서 에너지 개선을 보이는 광선반 각도의 범위가 증가되어 설계 시 유리할 것이라 판단된다.

4.1.4 피라미드천장 형태에 따른 광선반 성능평가

피라미드천장 형태 및 광선반 변인에 의한 성능평가는 다음과 같다.

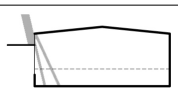
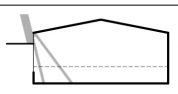
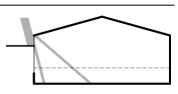
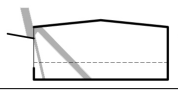
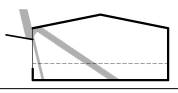
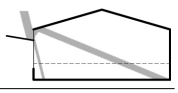
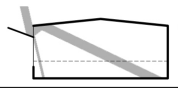
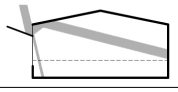
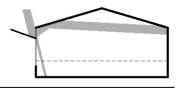
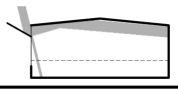
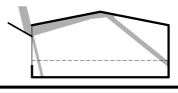
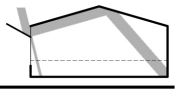
첫째, Table 12에서 나타나듯이 하지 시 공간깊이 3 m의 피라미드천장 형태는 광선반 미설치 및 설치 시 표준조도를 만족하는 공간깊이는 경사천장과 동일하게 3 m로 나타나고 있다. 공간깊이 6 m의 피라미드천장 형태는 광선반 미설치 시 표준조도를 만족하는 공간깊이는 실내 천장높이 2.45 m, 2.6 m, 2.75 m에 따라서 동일하게 2.75 m로 나타나며, 광선반 설치 시 폭과 각도의 변화에 따라서 3.25 m, 3.75 m, 3.75 m로 표준조도를 만족하는 공간깊이는 각각 8.3%, 16.3%, 16.3% 증가하여 에너지 저감 효율이 있을 것이라 판단하며, 높이 2.6 m에서 가장 높은 채광성능 개선을 보인다. 또한 광선반의 폭과 각도의 증가는 표준조도 만족깊이 개선에 유리한 경향을 보인다.

둘째, 다른 형태의 공간과 동일하게 광선반 설치시 실내공간의 평균조도는 미설치시 대비하여 낮게 분석되며, 천장의 높이가 증가함에 따라서 실내공간의 평균조도도 낮아지고 있다. 반면 광선반의 폭의 감소는 차양면적의 감소시켜 실내공간의 평균조도를 낮게 만드는 경향을 보인다, 광선반의 각도의 증가는 반사면적을 증가시켜 평균조도를 높이는 경향을 보인다. 단, 광선반 각도 30°는 자연광을 실내 깊숙이 유입시켜 표준조도 만족깊이의 개선을 보이지만 반사의 형태로 인하여 평균조도는 낮게 분석된다.

셋째, Table 13에서 나타나듯이 균제도는 광선반 폭에 상관없이 각도 30°가 높게 나타나는 경향을 보인다.

넷째, 광선반 설치에 따른 표준조도 만족깊이 개선 및 균제도 개선의 측면에서 팔작천장 형태시 천장 높이 2.45 m, 2.6 m, 2.75 m 따라서 폭 0.6 m 이상, 각도 30°이상이 적정안으로 도출되어 팔작천장 형태에 비하여 적용가능한 광선반 변인이 적게 분석된다. 단 광선반의 폭이 증가함에 따라서 적용가능 한 광선반 각도의 범위가 증가하고 있어서 설계 시 피라미드 천장형태가

Table 14 Inflow and reflection of light based on the Gambrel ceiling and Light Shelf's Angle during summer solstice

Angle	Ceiling height 2,450 mm	Ceiling height 2,600 mm	Ceiling height 2,750 mm
0°			
10°			
20°			
30°			

-------- : Height of illumination photometry(750 mm).

유리할 것이라 판단된다.

4.1.5 커브천장 형태에 따른 광선반 성능평가

피라미드천장 형태 및 광선반 변인에 의한 성능평가는 다음과 같다.

첫째, Table 15에서 나타나듯이 하지 시 공간깊이 3 m의 커브천장 형태는 광선반 설치 및 미설치에 따라서 표준조도를 만족하는 공간깊이는 경사천장과 동일하게 3 m로 나타나고 있다. 공간깊이 6 m의 피라미드 천장 형태는 광선반 미설치 시 표준조도를 만족하는 공간깊이는 실내 천장높이 2.45 m, 2.6 m, 2.75 m에 따라서 동일하게 2.75 m로 나타나며, 광선반 설치시 폭과 각도의 변화에 따라서 3.25 m, 3.75 m, 3.75 m로 표준조도를 만족하는 공간깊이는 8.3%, 16.3%, 16.3% 증가하였다. 특히 천장높이 2.6 m의 경우에는 광선반 미설치에 대비하여 채광성능 개선을 보이는 변인이 많이 나타나 광선반 설계시 유리하다. 또한 다른 천장의 형태의 빛의 유입 및 반사와 다르게 커브형 천장의 경우에는 Table 15에 나타나듯이 빛의 확산이 발생하여 표준조도 만족깊이 개선이 많이 이루어지고 있어서 광선반 적용에 유리한 형태로 판단된다.

둘째, 광선반 설치시 실내공간의 평균조도는 미설치시 대비하여 낮게 분석되며, 천장의 높이가 증가함에 따라서 실내공간의 평균조도도 낮아지고 있다. 반면 광선반의 폭의 감소는 차양면적의 감소시켜 실내공간의 평균조도를 높게 만드는 경향을 보이며, 광선반의 각도의 증가는 반사면적을 증가시켜 실내로 유입되는 광량을 증가시켜 평균조도를 높이는 경향을 보인다. 단, 다른 천장형태와 동일하게 광선반 각도 30°는 자연광을 실내 깊숙이 유입시켜 표준조도 만족깊이의 개선을 보이지만 반사의 형태로 인하여 평균조도는 낮게 분석된다.

셋째, Table 15에서 나타나듯이 균제도는 빛의 확산에 의하여 광선반 폭과 각도의 증가 혹은 감소에 따른 일정한 규칙을 보이지 않고 있다.

넷째, 광선반 설치에 따른 표준조도 만족깊이 개선 및 균제도 개선의 측면에서 커브천장 형태시 광선반 폭 0.6 m 이상과 각도 20° 이상이 적정안으로 판단된다.

Table 15 Light Shelf performance evaluation based on the curve ceiling during summer solstice

		Ceiling height 2,450 mm						Ceiling height 2,600 mm						Ceiling height 2,750 mm					
		Spatial depth 3 m			Spatial depth 6 m			Spatial depth 3 m			Spatial depth 6 m			Spatial depth 3 m			Spatial depth 6 m		
W	A	Ⓢ	Ⓐ	Ⓤ	Ⓢ	Ⓐ	Ⓤ	Ⓢ	Ⓐ	Ⓤ	Ⓢ	Ⓐ	Ⓤ	Ⓢ	Ⓐ	Ⓤ	Ⓢ	Ⓐ	Ⓤ
N		3.00	3694	0.134	2.75	1910	0.059	3.00	3619	0.137	3.25	1925	0.140	3.00	3564	0.127	2.75	1862	0.068
0.3	-30	3.00	1049	0.470	2.75	583	0.179	3.00	963	0.487	3.25	578	0.408	3.00	908	0.488	2.25	533	0.230
	-20	3.00	1102	0.447	2.75	616	0.181	3.00	1017	0.470	3.25	602	0.446	3.00	956	0.455	2.75	557	0.220
	-10	3.00	1154	0.448	2.75	637	0.166	3.00	1046	0.474	3.25	618	0.456	3.00	981	0.492	2.75	575	0.216
	0	3.00	1195	0.446	2.75	656	0.172	3.00	1084	0.480	3.25	630	0.444	3.00	999	0.493	2.75	596	0.225
	10	3.00	1211	0.455	2.75	669	0.171	3.00	1117	0.492	3.75	642	0.452	3.00	1024	0.501	2.75	604	0.227
	20	3.00	1229	0.460	2.75	681	0.180	3.00	1120	0.485	4.25	656	0.468	3.00	1041	0.505	2.75	615	0.235
	30	3.00	1238	0.478	2.75	683	0.189	3.00	1119	0.495	3.75	664	0.478	3.00	1038	0.505	2.75	621	0.228
0.6	-30	3.00	1071	0.449	2.75	595	0.160	3.00	992	0.469	3.25	584	0.448	3.00	932	0.480	2.25	543	0.209
	-20	3.00	1172	0.430	2.75	650	0.168	3.00	1073	0.456	3.25	619	0.455	3.00	1003	0.479	2.75	588	0.213
	-10	3.00	1250	0.429	2.75	685	0.158	3.00	1129	0.456	3.75	646	0.413	3.00	1048	0.485	2.75	620	0.199
	0	3.00	1308	0.442	2.75	716	0.158	3.00	1179	0.473	3.75	669	0.443	3.00	1085	0.494	2.75	648	0.220
	10	3.00	1352	0.441	2.75	745	0.160	3.00	1203	0.488	5.75	690	0.496	3.00	1102	0.494	3.25	668	0.215
	20	3.00	1366	0.467	3.25	749	0.179	3.00	1223	0.498	5.75	692	0.458	3.00	1126	0.507	3.25	672	0.245
	30	3.00	1347	0.486	3.25	746	0.200	3.00	1207	0.521	5.75	703	0.467	3.00	1121	0.549	3.25	669	0.255
0.9	-30	3.00	1094	0.433	2.75	603	0.155	3.00	1006	0.450	3.25	576	0.454	3.00	939	0.465	2.75	553	0.196
	-20	3.00	1205	0.413	2.75	667	0.154	3.00	1111	0.451	3.75	630	0.454	3.00	1022	0.457	2.75	607	0.206
	-10	3.00	1307	0.427	2.75	710	0.151	3.00	1175	0.455	3.25	659	0.415	3.00	1087	0.482	2.75	650	0.196
	0	3.00	1379	0.440	2.75	758	0.154	3.00	1237	0.471	4.25	683	0.458	3.00	1132	0.508	3.25	669	0.208
	10	3.00	1402	0.456	3.25	774	0.161	3.00	1269	0.494	5.75	703	0.474	3.00	1153	0.508	3.25	691	0.229
	20	3.00	1420	0.465	3.25	780	0.181	3.00	1270	0.506	5.75	720	0.481	3.00	1167	0.530	3.25	697	0.274
	30	3.00	1395	0.500	3.25	776	0.209	3.00	1252	0.543	5.75	729	0.467	3.00	1166	0.594	3.75	694	0.279
1.2	-30	3.00	1101	0.405	2.75	603	0.131	3.00	1009	0.440	2.75	578	0.433	3.00	947	0.464	2.75	557	0.183
	-20	3.00	1222	0.416	2.75	673	0.149	3.00	1121	0.451	3.75	631	0.463	3.00	1040	0.443	2.75	623	0.196
	-10	3.00	1329	0.414	2.75	729	0.152	3.00	1209	0.454	3.75	681	0.445	3.00	1115	0.488	2.75	662	0.201
	0	3.00	1407	0.438	3.25	776	0.144	3.00	1266	0.487	5.75	710	0.441	3.00	1155	0.501	3.25	687	0.210
	10	3.00	1446	0.462	3.25	793	0.159	3.00	1300	0.489	5.75	721	0.467	3.00	1183	0.504	3.25	697	0.225
	20	3.00	1438	0.469	3.25	796	0.202	3.00	1288	0.528	5.75	737	0.460	3.00	1186	0.512	3.25	705	0.269
	30	3.00	1420	0.505	3.25	792	0.225	3.00	1286	0.578	5.75	756	0.494	3.00	1172	0.551	3.25	710	0.286

W : Width of Light Shelf, A : Angle of Light Shelf, N : Light Shelf not installed.
Ⓢ : Standard illuminance satisfaction degree(m), Ⓐ : Average illuminance, Ⓤ : Uniformity factor.
: This indicates lower score than the value estimated with no Light shelf installed, Bold : Ceiling value of uniformity factor.

ⓒ SAREK

4.2 성능평가 결과에 대한 소결 및 논의

4.2.1 하지 시 공간형태 및 광선반 변인에 따른 표준조도 만족깊이 산출

하지시 공간깊이 3 m의 경우에는 천장의 형태에 대해서는 천장 높이 및 광선반의 설치여부에 상관없이 표준조도 만족깊이는 3 m로 동일하게 나타난다. 반면 6 m의 공간깊이에 대해서는 공간형태와 높이에 따라서 다르게 나타나고 있으며, 경사천장 및 팔작천장은 광선반 미설치시 대비하여 8.3%의 표준조도 만족깊이의 개선을 보였다. 또한 피라미드천장 및 커브천장 형태는 광선반 미설치시에 대비하여 천장 높이에 따라서 16.3%의 표준조도 만족깊이 개선을 보였으며, 천장의 높이가 증가함에 따라서 표준조도 만족깊이는 증가하여 조명에너지 저감 성능이 높아질 것이라 판단된다.

4.2.2 하지 시 공간형태 및 광선반 변인에 따른 빛의 유입 및 반사

하지 시 광선반의 각도의 증가는 자연광을 실내 깊숙이 유입하여 채광성능을 개선하고 있어서 균제도를 높혀 실내 쾌적성을 개선시킨다. 반면, 광선반의 광선반 각도 -30˚, -20˚, -10˚의 경우에는 광선반의 반사에 의한 유입은 발생하지 않으며, 차양만 이루어져 채광성능 개선에 부적하여 설계 시 고려되어야 할 요소이다.

4.2.3 광선반 설치에 의한 차양면적 및 반사면적

본 연구에서 설정한 차양면적 및 반사면적은 높은 외부조도의 빛을 차양과 자연광을 실내 깊숙이 유입시켜는 역할을 함으로써 균제도를 높이는 중요한 요소이다. 이에 산출된 하지시 광선반 각도 및 폭의 증가에 의하여 도출된 차양면적과 반사면적은 비례하지 않으나 증가하는 경향을 보여서 표준조도 만족깊이 및 균제도의 개선을 보이고 있다.

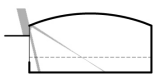
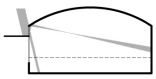
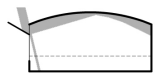
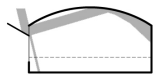
4.2.4 하지시 공간형태에 따른 광선반 적정안 도출

하지시 공간 형태 및 광선반 변인에 따른 적정안은 광선반 미설치 시 대비하여 표준조도 만족깊이와 균제도를 근거로 다음 Table 17과 같이 도출하였으며, 앞서서 언급한 것처럼 광선반의 폭과 각도는 증가할수록 채광성능 개선에 유리하게 분석되었다.

5. 결 론

광선반은 외부의 자연광을 실내 깊은 곳까지 유입 및 반사를 통하여 에너지 저감을 효율적으로 유도하여 다양한 연구 및 기술 개발이 이루어지고 있다. 하지만

Table 16 Inflow and reflection of light based on the Curve ceiling and Light Shelf's Angle during summer solstice

Angle	Ceiling height 2,450 mm	Ceiling height 2,600 mm	Ceiling height 2,750 mm
0˚			
10˚			
20˚			
30˚			

-------- : Height of illumination photometry(750 mm).

Table 17 Optimal standard of Light Shelf based on the Geometric Shape of Ceiling during summer solstice

space-form (ceiling)	Optimal standard of Light Shelf	
	Width	Angle
(+)angle inclined ceiling	Width 1.200 mm	Angle 30˚
(-)angle inclined ceiling	Width 600 mm or more	Angle 20˚ or more
Gambrel ceiling	Width 600 mm or more	Angle 20˚ or more
Pyramid ceiling	Width 600 mm or more	Angle 30˚
Curve ceiling	Width 600 mm or more	Angle 20˚ or more

기존 연구들은 광선반의 변인에만 초점이 맞추어져 성능평가만 이루어졌으며, 거주자가 실질적으로 생활하는 실내공간의 형태적 요소는 고려되지 않았다. 이에 본 연구는 에너지 부하가 많이 발생하는 하지에 한하여 공간형태 및 광선반 변인에 대하여 성능평가를 실시하였으며, 이에 대한 결론은 다음과 같다.

첫째, 하지시 광선반 설치에 따른 표준조도 만족깊이에 대한 성능은 다음과 같다. 공간깊이 3 m의 경우에는 천장의 형태 및 광선반의 설치 유뮤와 상관없이 표준조도를 전체적으로 만족하여 광선반 설치에 따른 채광 성능 개선은 없다. 6 m의 공간깊이에 대해서는 광선반 미설치시에 대비하여 광선반 설치시 각도와 폭을 조정을 통하여 표준조도 만족깊이가 8.3%~26.3% 개선

을 보였다. 특히 피라미드천장 및 커브천장 형태는 표준조도 만족깊이 개선에 있어서 다른 타입에 비하여 우수하게 나타나 광선반 설치시 효율이 높게 분석된다.

둘째, 광선반은 외부의 자연광을 광선반의 반사면과 천장면의 반사를 통하여 실내로 유입시켜 채광성능이 개선되지만 본 연구에서 설정한 -30°, -20°, -10°의 광선반은 하지 시 천장의 형태와 무관하게 차양의 역할만 하고 있어서 부적합하다.

셋째, 경사천장, 팔작천장의 경우에는 천장높이의 증가함에 따라서 광선반의 의한 빛의 유입이 깊숙이 이루어져 채광성능 개선에 유리하게 나타나며, 반면, 피라미드 천장형태 및 커브 천장의 경우에는 특정 높이인 2,600 mm에서 광선반의 적용 변인 및 성능이 높게 나타나 광선반 설계시 고려해야 한다.

넷째, 본 연구에서 설정한 광선반의 차양면적과 반사면적은 차양 및 광선반을 통한 빛의 유입 광량과 연관이 있기 때문에 중요한 요소이며, 특히 광선반의 각도 및 폭의 증가는 광선반의 성능개선을 유도하고 있다. 이에 하지 시 광선반의 폭과 각도의 증가는 차양면적 및 반사면적을 증가시켜 채광성능 개선을 유도한다.

다섯째, 본 연구는 에너지 저감 및 실내 균제도를 근거로 공간형태에 따른 광선반 적정안을 도출하였으며, 그에 대한 결과는 (-)각도 경사천장 형태는 폭 1.200 mm 및 각도 30°의 외부형 광선반, (+)각도 경사천장 및 팔작천장 형태는 폭 600 mm 이상 및 각도 20° 이상의 외부형 광선반, 피라미드천장 형태는 폭 600 mm 이상 및 각도 30°의 외부형 광선반, 커브천장 형태는 폭 600 mm 이상 및 각도 20° 이상의 광선반으로 도출되었다.

제로에너지의 요소기술인 광선반을 적절히 설계를 하기위해서는 공간의 형태 및 크기를 기초로 한 연구가 반드시 선행되어야 함에도 불구하고 기존의 광선반 연구는 부재하다는 측면에서 본 연구는 유의미하며, 기존 광선반 관련 연구와 차별화된다고 판단한다. 단, 본 연구는 광선반의 높이, 광선반의 반사율, 실내공간의 천장고를 고정하여 진행하였다는 점은 본 연구의 제한적 요소로써, 차후 연구에서는 계절 별 시간대 별의 다양한 고려가 이루어져야 한다.

Reference

1. Back, S. K. and Le, 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. Cko, S., 2009, The Technical Development Status of Energy Convergence Building, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning and Design, Vol. 55, No. 2.
4. Cho, Y. S., 2003, Analysis on Indoor Daylight Performance having Light-shelf system, A Doctoral Dissertation, Graduate School Chungnam National University, Daejeon Korea.
5. 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 lightself. Proceeding of the SAREK 2011 Summer Annual Conference(Ⅱ), pp. 971-974.
6. 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.
7. Kim, D. W. and Park, C. S., 2009, Performance Assessment of Building EnvelopesⅡ : LightShlef, Retro Lux. Proceeding of the KSES 2009 Spring Annual Conference, pp. 83-90.
8. 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.
9. Lee, H. W. and Lee, S. N., 2011, The Improvement of Uniformity Ratio for Luminous Environment Using Horizontal Lightshelf 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. Shin, H. G., 2003, Daylighting Performance Evaluation of Light Shelf Master's Degree, Graduate School KyungHee University, Seoul, Korea.
13. 3M, Construction Markets, Product Information.

ⓒ SAREK