

제4회 그린리모델링 챌린지 아이디어 발굴 부문

그린리모델링 아이디어 발굴(요약본)

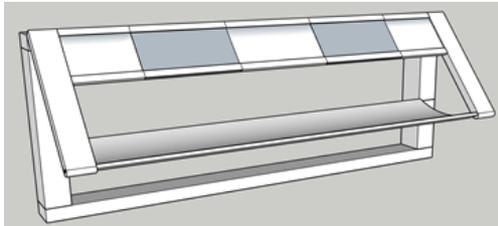
제목

실내 조도량에 따른 각도 조절 광선반 시스템에 관한 제안
 - 모듈러 공법이 적용된 <학교 건축물>을 중심으로

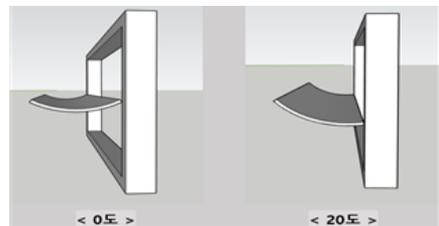
내용

광선반이란 자연광을 실내 천장면으로 반사시켜 실내 깊숙이 유입시키는 장치이다. 그러나 기존의 평판형의 형태로서의 광선반은 성능저하 문제와 단방향 반사라는 한계를 유발한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 기존 광선반에 곡률, 조도 센서를 통한 자동 광선반 각도 조절, PV 모듈, 조도 센서를 통한 실내 조명 제어 기술을 적용하고자 한다.

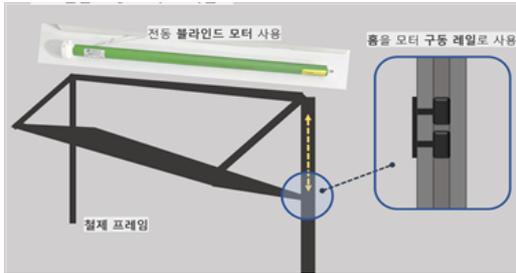
① 광선반



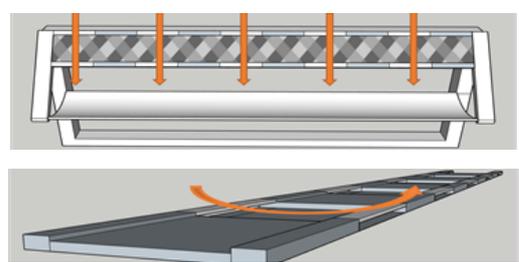
② 광선반 각도 조절 가능



③ 광선반 작동 모터&레일



④ 친환경 전력 구축&PV전지



⑤ 광선반과 조도센서 연계



- 조도센서에 따른 광선반 자동 각도 조절
 - 조도센서와 조명 on/off

기대효과

1) 냉/난방 에너지 감소
 하계에는 외주부의 과도한 일사량의 유입을 막는 차양효과, 동계에는 실내에 깊숙이 빛이 들어오는 채광효과로 냉/난방 에너지 사용이 감소한다.

2) 과도한 전력 사용 방지
 실내 조도량에 따라 LED를 자동으로 on/off 함으로써 불필요한 전력을 감소시킨다.

3) 균제도 측면 우수

태양의 직사광을 적절히 실내로 유입시킴으로써 외/내주부의 조도량을 균질하게 조절하고, 이를 통해 실내의 균제도를 향상시킨다.

4) 재실자의 쾌적도 향상

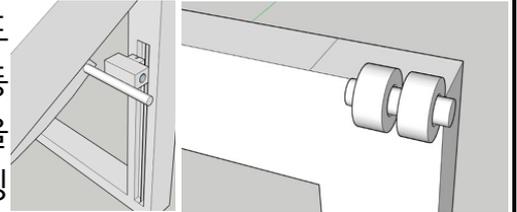
차양효과로 고휘도를 막아 눈부심 현상을 방지하고, 실내의 조도량을 균질하게 유지함으로써 재실자의 쾌적도를 향상시킨다.

그린리모델링 아이디어 발굴

제목	실내 조도량에 따른 각도 조절 광선반 시스템에 관한 제안 - 모듈러 공법이 적용된 <학교 건축물>을 중심으로								
배경 및 목적	<p>2012년 국토환경지속성포럼 자료에 따르면, 한국과 미국의 건물 에너지 소비량은 각각 전체의 23%와 37%를 차지하며, 국내 건물의 22%는 조명 에너지로 소비된다. 이에 따라 자연채광 시스템 연구가 활발히 진행 중이며, 광선반은 자연광을 실내 깊숙이 유입시켜 조명 에너지를 절감에 효과적이다. 그러나, 현재의 평판형 광선반은 태양의 방위각과 고도에 따라 성능이 저하되며, 실내 조도 조절에 한계가 있다. 특히 평판형 반사판은 입사각과 반사각의 제한으로 인해 깊은 실내까지 빛을 효과적으로 전달하기 어렵다. 따라서, 각도 조절이 가능한 곡면형 광선반이 성능 면에서 유리하며, 외부형 광선반은 각도 조절을 통해 차양 효과와 빛의 유입을 조절할 수 있다.</p> <p>이에 본 연구에서는 기존 광선반의 성능 저하와 단방향 반사 문제를 해결하기 위해 곡률 형태와 각도 조절이 가능한 광선반을 제안하고, 실험을 통해 이를 검증하고자 한다. 학교 관계자와 학부모들로부터 실내 균제도 개선에 대한 요구가 높아진 학교 건축물에 광선반을 설치해 실험을 진행했으며, 공사 기간과 경제성을 고려해 모듈러 공법을 적용했다. 연구 목표는 모듈러 학교 건축물에서 각도 조절 광선반의 효능을 분석하고, 아두이노를 통해 실제 구동 여부를 확인하는 것이다.</p>								
세부 내용	<p>1. 제안 기술에 대한 설계 계획</p> <p>1.1 관련 법규와 선행 기술 조사</p> <p>기존 광선반에 변화를 주고 다른 기술을 적용하기 위해 사전에 관련 법규와 선행 기술 특히 조사를 수행하였다. 관련 법규를 조사한 결과, 건축 전기설비 설계기준을 근거로 실험 장소인 교실에 맞게 G타입 공간 기준을 적용했다.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 10px 0;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">활동형태</th> <th style="width: 15%;">조도부류</th> <th style="width: 20%;">조도범위(lx)</th> <th style="width: 25%;">조명방법(예)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">일반휘도 대비, 작은 물체대상 시작업 수행</td> <td style="text-align: center;">G</td> <td style="text-align: center;">300-400-600</td> <td style="text-align: center;">작업면 조명</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">[표 1] 조도의 분류 및 조도 범위</p> <p>선행 특허 기술 중 광선반 장치(10-2012-0113253)는 회전 가능한 슬릿이 있는 프레임 구조로, 조도 조절장치(10-2005-0006798)는 반도체 스위치 소자의 턴오프 주기를 조절하는 기술로 에너지 절약과 안정성에 강점이 있다.</p>	활동형태	조도부류	조도범위(lx)	조명방법(예)	일반휘도 대비, 작은 물체대상 시작업 수행	G	300-400-600	작업면 조명
활동형태	조도부류	조도범위(lx)	조명방법(예)						
일반휘도 대비, 작은 물체대상 시작업 수행	G	300-400-600	작업면 조명						

1.2 제안 기술의 요소 기술 및 기존 기술과의 차이점

제안된 요소 기술에는 창틀 프레임, 지지대, 곡면형 광선반, 태양 전지판, 블라인드 모터, 이동 레일이 포함된다. 창틀 프레임은 창문을 안정적으로 고정하고 하중을 지지하여 광선반의 뼈대를 형성한다. 지지대는 각도 조절을 지원하며, 곡면형 광선반은 한 방향 반사의 한계를 극복하고 다양한 각도로 빛을 실내 깊숙이 빛을 전달한다. 또한, 태양고도에 따라 변화된 빛을 반사해 냉방 비용 절감, 자외선 차단, 시야 보호, 에너지 효율성 개선 효과를 낸다. 태양 전지판은 낮 동안 전기를 생산해 실내 조명 전력 절감을 돕는다. 블라인드 모터는 원격 제어로 광선반을 자동 작동 시키며, 이동 레일은 정확한 위치 조절을 지원한다. 추가로, 힌지를 사용해 폴딩 기능을 구현하기도 하였다.

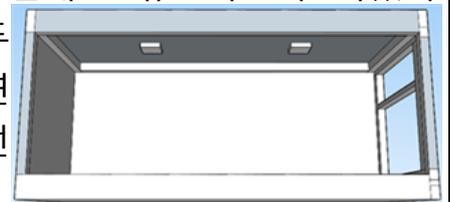


[그림 1] 이동 레일과 힌지

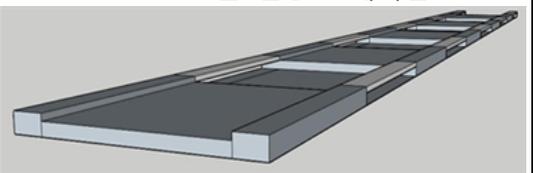
기존 기술과의 차이점은 크게 4가지로 요약할 수 있다. 첫째, 곡률을 적용해 다양한 태양의 방위각과 고도 변화에 대응하여 실내 깊숙이 빛을 전달할 수 있다는 점이다. 둘째, 조도 센서와 서보모터를 통해 광선반의 각도를 자동 조절할 수 있도록 설계함으로써 자유로운 움직임을 구현했다. 셋째, 태양 전지판을 통해 전력 저감 효과를 높였고, 마지막으로 조도 센서와의 연계를 통해 실내 밝기를 조절하여 재실자의 빛 환경을 최적화했다는 특징이 있다.

1.3 제안 기술 연계 및 적용 방안

광선반은 알루미늄으로 제작되며, 폭 600mm, 너비 2600mm, 두께 25mm로 설계되었습니다. 곡률은 60도로 설정하고, 각도는 계절에 따라 0도에서 20도까지 조정 가능합니다. 하지와 동지에는 20도, 춘분과 추분에는 10도로 설정하여 최적의 자연광을 실내로 유도하도록 하였다. 광선반의 모터와 레일 시스템은 초기의 두 개 모터 방식에서 하나의 모터로 양쪽을 연결하는 방식으로 수정하여 좌우 균형을 개선했습니다. 이로써 양쪽이 동일하게 움직이며, 레일을 따라 부드럽게 위아래로 이동할 수 있도록 설계했다. 또한, 태양광 전지판은 광선반 지지대 사이에 설치하여 전력 소비를 줄이며, 바람길을 설계해 과열을 방지하고 통풍을 원활하게 설계



[그림 3] 천장 마감재가 없는 노출 천장 스케치업



[그림 2] 광선반 상하부의바람길 스케치업

하였다.

실험은 실내 깊이가 깊고 세로로 긴 건물을 대상으로 했으며, 창문 근처의 외주부와 멀리 있는 내주부의 조도를 비교했다. 조도 센서가 실내 밝기를 감지하여 자동으로 광선반 각도를 조절하고, 조도가 부족할 경우 내주부 조명을 자동으로 켜도록 설계했다. 또한, 천장 마감재를 제거해 빛의 전달을 개선하고 시각적 층고를 높여 실내 쾌적성을 극대화하였다.

2. 제안 기술의 구현

2.1 요소기술의 적용 대상 공간

기존의 광선반 시스템은 오피스 건물의 창에 설치되어 조도를 조절하며, 층고가 높을수록 효과가 좋다. 초기에는 이러한 시스템이 높은 층고를 가진 오피스 건물에 적합하다고 판단했으나, 모듈러 공법이 적용된 건물에 적용하는 것이 더 실용적이라는 결론에 도달했다. 이에 따라, 기자 브라켓으로 체결 유닛에 부착하고 광선반 프레임을 결합하는 방식을 채택했다. 따라서, 모듈러 공법이 사용된 건물, 특히 모듈러 학교 건물의 교실을 요소기술 적용 대상으로 설정했다. 교실 공간은 자연광 유입이 중요한 공간으로, 제안된 기술이 유용하게 사용될 것이다. 또한, 신도시 개발과 학령인구 변화에 따라 환경 문제 해결에도 기여할 것이다.

추가적으로, 교실의 효과적인 일사 유입을 위해 천장을 노출 상태로 설계하는 방안을 고려했다. 노출 천장은 천장 마감재를 제거하여 층고를 높이고, 반사된 빛이 천장까지 도달하게 하여 실내 공간을 넓어 보이게 한다. 이는 내주부의 자연 채광 효과를 극대화할 수 있다. 따라서, 교실 내부를 노출 천장 형태로 구성하여 제안된 요소기술의 효율성을 더욱 높이고자 한다.



[그림 6] 모듈러 학교



[그림 7] 노출 천장

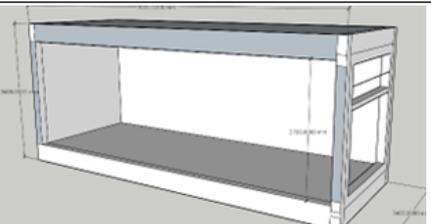
2.2 요소기술의 구현을 위한 3D 모델링과 모형 제작

제안된 광선반 시스템을 실제 구현하기 위해 3D 모델링과 모형 제작을 진행했다. 초기에는 간단한 스케치[그림 8]를 통해 전체적인 형태를 결정한 후, Sketch Up을 사용해 세부적인 3D 모델링을 수행했다. 모듈

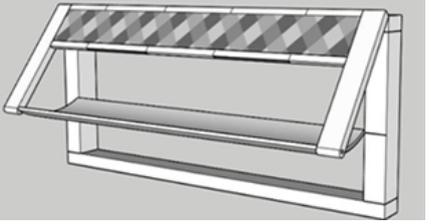


[그림 8] 초기 광선반 시스템 스케치

리 교실의 단위 모듈 크기를 높이 3600mm, 가로 9000mm, 세로 3400mm로 설정하고, 노출 천장을 적용하여 내부 층고를 300mm 높였다. 광선반 시스템의 모델링에선 프레임 가로 2900mm, 세로 1300mm와 광선반의 곡률 각도를 60도로 설정했다. 추가로 PV 모듈 부착판에는 바람



[그림 9] 모듈러 교실의 단위 모듈



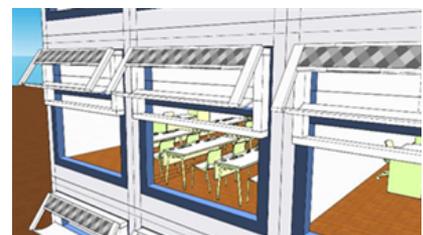
[그림 10] 광선반 시스템

길 통로를 디자인한 것이 [그림 10]이다.

추가로, 제안한 요소기술을 모듈러 교실에 적용한 모델을 제작했다. 두 개의 단위 모듈이 결합되어 하나의 교실을 형성하고, 이를 바탕으로 3층 규모의 학교에 교실 9개를 배치한 모델을 제작했다. 내부 교실의 세부 모습도 포함하여 전체 구조를 시뮬레이션했다. 결과적으로, [그림 11]에서는 광선반 시스템이 부착된 모듈러 학교의 전체 모습이, [그림 12]에서는 개별 교실에 부착된 광선반 시스템의 상세 모습이 나타난다.



[그림 11] 모듈러 교실 & 광선반 시스템 1



[그림 12] 모듈러 교실 & 광선반 시스템 2

모형 제작은 우드락과 3D 프린터를 사용해 20:1로 축소해 진행했으며, 모터 구동과 PV 모듈을 간단히 구현했다. 아두이노 회로로 조도센서 기반 광선반 각도 조절 및 조명 제어 시스템을 테스트했으며, 실험으로 자연채광에 미치는 영향을 검증했다.

2.3 요소기술 구현을 위한 실험 평가와 아두이노 시스템

제안된 요소기술의 핵심은 조도센서를 활용한 자동 각도 조절 시스템으로, 아두이노를 사용해 설계되었습니다. 실내 조도가 400lx 이하일 때 광선반 모터가 작동하며, 조도가 회복되면 LED 조명을 꺼서 시스템을 정지시킵니다. 시스템은 해가 떠 있는 동안 2시간마다 작동하도록 설정되었으며, 이를 아두이노로 구현해 실험을 진행했습니다.

<실험 1> 조도센서에 따른 광선반 각도 조절

본 실험은 조도센서를 이용해 광선반의 각도를 자동으로 조절하는 시스템을 아두이노 회로로 구현한 과정이다. A0 핀에 연결된 조도센서(CDS)와 8번 핀에 연결된 서보모터를 연결해 빛의 세기에 따라 모터가 0°에서 180°로 회전하도록 설계했다. 아두이노 코드에서 `analogRead(CDS_pin);`로 센서 값을 읽고, `myservo.write(180);`와 `myservo.write(0);`로 모터 회전을 제어합니다. 회로와 코드 구성을 완료한 후, [그림 14] 조도센서와 서보모터의 정상 작동을 확인하고 광선반 모델에 서보모터 전체 연결 모습 부착하여 각도 조절 실험을 진행했다. 실험 중, 기존 모델의 구동 한계를 극복하기 위해 새로운 모델을 제작했으며, 프레임 상부에 모터를 장착해 구동 부분을 개선했습니다. 이 모델로 아두이노 회로 구동 실험을 진행하였으며, 전체 시스템 연결 모습은 [그림 14]에서 확인할 수 있다.



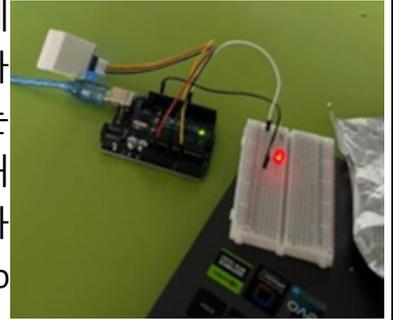
조건	모터(SG90) 0°~180° turn	실행	
		전	후
CDS > 100	0°~180° turn		
CDS < 100	180°~0° turn		

[표 2] <실험 1> 실행 결과

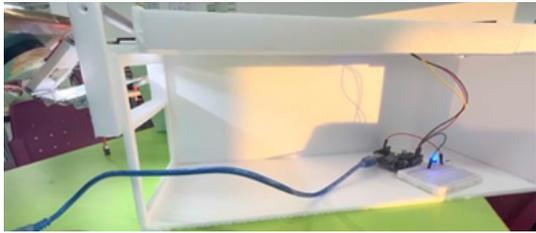
따라서 조도센서에 따라 광선반의 각도가 정상적으로 조절되고, 조도량 변화에 맞춰 유연하게 각도를 조정하여 실내 조도를 적절히 관리함을 확인할 수 있다.

<실험 2> 조도센서에 따른 LED ON/OFF

이번 실험에서는 조도센서로 측정된 조도에 따라 LED를 자동으로 ON/OFF하는 시스템을 아두이노로 구현했다. 조도센서는 A0 핀에, LED는 7번 핀에 연결되며, 기준 저항값 100을 설정해 LED의 상태를 제어한다. 조도값이 100을 초과하면 LED가 켜지고, 미만일 경우 꺼지도록 Loop 문과 if else 문을 사용했다. `digitalWrite(LED, HIGH);` LED를 켜고, `digitalWrite(LED, LOW);` 로 LED를 끈다. 회로의 연결 모습은 [그림 12]이다/



[그림 12] 조도센서와 LED 전체 연결 모습

조건	LED	
CDS > 100	On	
CDS < 100	Off	

[표 3] <실험 2> 실행 결과

[표 3]의 실험 결과에 따라 광선반과 LED의 연결 및 자동 제어가 원활하게 이루어짐을 확인했다. 실제 설치 후, 내주부 조도량에 따라 LED 전원을 조절하여 불필요한 전력 소모를 줄일 수 있음을 입증했다.

<실험 3> 광선반에 따른 실내 조도량 측정

이 실험은 광선반 시스템이 실내 조도에 미치는 영향을 평가하기 위해 설계되었다. 요소기술 설치 여부와 광선반 각도(0°, 20°)에 따른 조도 변화, 그리고 천장 형태(일반, 노출, 반사판 부착)의 영향을 분석했다. 실험은 모델의 창가를 기준으로 실내를 외주부와 내주부로 나누어 조도센서를 사용해 측정하였고, 천장 반사율이 80% 이상일 때의 효과도 검토하였다.



[그림 11] <실험 3> 진행 사진

	광선반 O	광선반 X
--	-------	-------

	광선반 0°	광선반 20°	-
외주부	149	162	130
내주부	229	198	235



[표 4] 일반 천장인 경우 저항값 측정 결과

	광선반 O		광선반 X
	광선반 0°	광선반 20°	-
외주부	140	150	116
내주부	206	171	213



[표 5] 노출 천장인 경우 저항값 측정 결과

	광선반 O		광선반 X
	광선반 0°	광선반 20°	-
외주부	132	143	113
내주부	201	169	210



[표 6] 노출 천장에 반사판을 부착한 경우 저항값 측정 결과

실험 결과, 외주부 조도량은 광선반이 없을 때 가장 높았고, 광선반 각도가 낮을수록 감소했다. 반면, 내주부에서는 광선반 각도가 20°일 때 조도가 가장 높았으며, 각도가 낮을수록 감소했다. 이는 광선반의 차양 효과와 채광 효과에 기인한다. 광선반이 직사광선을 천장으로 반사시켜 실내 깊숙한 부까지 확산광을 유도하기 때문으로 분석된다. 노출 천장과 반사판을 사용한 경우 조도가 가장 높았으며, 이는 난반사가 증가하

	<p>기 때문이다. 따라서, 반사율이 높은 노출 천장에서는 광선반을 20°로 설정하면 외주부에서는 차양 효과를, 내주부에서는 최적의 조도를 유지할 수 있을 것이다.</p> <p>요소기술을 고안하고 구현하면서 계획과 실제 제작 사이에 몇 가지 차이가 발생했다. 모터 구동, 아두이노 시스템, 광선반 프레임 제작에서 원리와 구성 방식의 완벽한 구현에 한계가 있었고, 일부는 생략되거나 단순화되었다. PV 모듈을 사용하는 계획은 모델 수정과 시간 제약으로 인해 실행하지 못했다. 그럼에도 불구하고, 요소기술은 최대한 실제 구현되었으며, 실험 결과는 계획에 부합하였기에 제안이 성공적이라고 생각된다.</p>
<p>기대효과</p>	<p>본 요소기술인 광선반 시스템은 기존의 광선반 시스템의 단점을 보완하고 더 효과적인 실내 조도 분포의 균형을 이루기 위한 목적을 가지고 고안되었으며, 이에 따라 구체적인 설계 계획을 세우고 구현을 위한 모델링 과정과 실험 평가 단계까지 거쳐 제안하고자 하는 요소기술인 광선반 시스템에 대해 다음과 같이 정리하고자 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 여러 선행 연구 결과를 토대로 평판형 광선반 시스템보다는 곡률형 광선반 시스템이 자연 채광에 더 효과적이기 때문에 광선반 형태를 곡률형으로 제작하였으며, 계절에 따라 내주부의 효과적인 일사 유입이 광선반의 적정 각도에 따라 달라진다는 선행 연구 자료를 기반으로 0° 와 20° 로 각도 조절이 가능한 광선반을 고안하였다. 이에 관해 실험을 진행하였고, 광선반 시스템으로 인해 외주부는 차양 효과가, 내주부는 효과적인 자연 채광 효과가 발생하는 것을 확인하였다. (2) 전기 에너지 절약의 효과와 광선반 시스템 사용에 대한 편리함을 증가시키기 위해 실내의 외주부와 내주부 각각에 조도센서를 설치하고 이를 기준으로 광선반의 각도 조절과 실내 조명 제어를 자동으로 작동할 수 있게 고안하였다. 이 시스템이 가능한지에 관해 작동 실험을 진행하였으며, 완벽한 구현을 하는 것에는 한계가 있었으나, 조도센서를 기준으로 광선반 시스템이 자동으로 원활히 작동하는 것을 확인하였다. (3) 학생들의 쾌적한 공부 환경 조성과 손쉬운 광선반 시스템의 부착을 위해 모듈러 교실 공간을 요소기술 적용 대상 공간으로 정하였고, 내주부로의 일사 유입을 증가시키기 위해 천장마감이 없는 상태인

노출 천장으로 공간을 구성하는 것에 더불어 천장 표면의 반사율이 높게 나타나도록 하였을 때 광선반 시스템으로 인한 자연 채광이 더 효과적으로 나타남을 실험을 통해 확인하였다.

- (4) PV 모듈을 광선반 시스템의 상부 부분에 부착하여 패시브적 요소를 추가하고자 하였으며, 이를 통해 전기에너지 절약이 가능하도록 구성하였다.

이를 토대로 이 기술의 시장성과 기대효과를 고려할 때, 하계에는 외주부의 과도한 일사량을 차단하고, 동계에는 실내로 깊숙이 빛을 유입시켜 냉난방 에너지를 절감한다. 또한, 조도량에 따라 LED를 자동으로 제어해 전력 손실을 방지하며, 적절한 태양광 유입으로 외주부와 내주부의 조도량을 균일하게 조절한다. 이로 인해 실내의 균제도가 향상되고, 재실자의 눈부심을 방지하며 쾌적도를 높일 수 있다. 기존 광선반 기술의 단점을 보완한 이 시스템은 시장성이 뛰어난 것으로 평가된다.