

# 포물면 집광거울 방식의 태양광 집광채광시스템 개발

## Development of Solar Daylighting System Using Parabolic Mirrors

성태경(Tae-Kyung Sung)<sup>1</sup>, 이충식(Chung-Sik Lee)<sup>1</sup>, 김종민(Jong-Min Kim)<sup>1</sup>,  
정채봉(Che-Bong Joung)<sup>2†</sup>, 김병철(Byung-Chul Kim)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(주)에이비엠크린텍, <sup>2</sup>한국생산기술연구원

<sup>1</sup>Enterprise Institute, ABM GreenTech Co., Ltd., Busan 612-020, Republic of Korea

<sup>2</sup>Korea Institute of Industrial Technology Technology Human Resource Support for SMEs Center, Chungnam 331-825, Republic of Korea

(Received December 28, 2012; revision received March 11, 2013)

**Abstract** We developed a parabolic reflector based daylighting system which can be used as an alternative indoor daytime lighting device such as for fluorescent lamps. The system comprises three main components : a daylight concentrator made of 4 pairs of parabolic reflectors and mirrors, a silica optical fiber bundle based light transmitter, and 4 light diffusers for the final indoor delivery of the collected daylight. We analyzed the performance of the system and revealed the system efficiency and daylighting factor. All test methods follow the rule, NR PV601 : 2007-daylighting system, governed by Korea Energy Management Corporation.

**Key words** Daylighting system(집광채광시스템), Parabolic mirrors(포물면 집광거울), Optical fiber(광섬유), System efficiency(시스템효율), Interior average illuminance(실내평균조도)

† Corresponding author, E-mail: cbjoung@kitech.re.kr

### 1. 서 론

태양광 활용기술은 에너지절감, 급속한 경제사회의 발전으로 인한 환경오염과 초고층 건축으로 인한 고도화, 밀집화에 따른 지하공간의 활용성을 높일 수 있는 기술로, 국내 건축물의 소비에너지 총량 중 20~28%를 차지하는 조명에너지 절감을 위한 대안기술로 인식되는 등 태양광의 적극적 도입과 응용기술 개발의 필요성이 증대되고 있다.<sup>(1-4)</sup>

건축분야에 적용되는 집광채광방식으로는 반사거울 방식, 광덕트(튜브)방식, 렌즈-광섬유 방식, 반사거울-광

섬유 방식<sup>(5)</sup> 등이 있으며, Fig. 1과 같이 일반적으로 집광부, 광전송부 및 산광부의 3부분으로 구성된다.

집광부는 태양광을 집광하는 부분으로 돔 또는 프리즘을 이용하여 수광하거나 프로그램 및 센서에 의해 태양광을 추적, 집광하는 장치이다. 광전송부는 집광된 빛을 덕트나 공기층, 광섬유 등을 이용하여 원하는 공간으로 전달하는 부분이며, 산광부는 전송된 빛을 확산판, 확산렌즈 등을 통해 실내로 산광시키는 부분이다.

태양광 집광채광시스템은 비집속형과 집속형 방식으로 크게 구분된다. 비집속형 방식은 빛을 집중하지 않는 방식으로 반사거울 방식, 광덕트 방식이 있으며, 집속형 방식은 빛을 집중하는 시스템으로 렌즈방식, 집광거울 방식 등이 있다. 그리고 추적여부에 따라 고정식 및 추적식 시스템으로 분류되며 Fig. 2와 같다.<sup>(6)</sup>

해외 선진국에서는 자연채광을 조명에너지 저감 및 시환경 성능 개선용, 기타 건강 및 생산성 향상을 목적으로 보급 중에 있다. 또한, 신재생에너지로서의 가치 이외에 건강과 환경개선 등 웰빙 차원에서도 각광받는 분야로 부상하면서 자연채광에 관한 인식이 높아

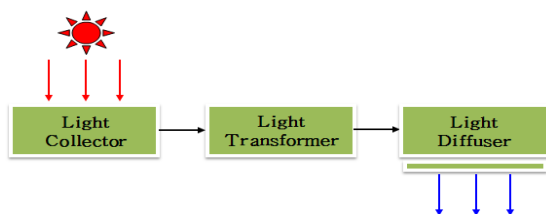


Fig. 2 Construction of system.

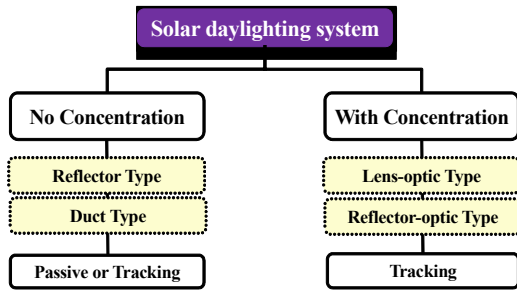


Fig. 2 Sort of system.

지고, 연구소, 대학, 기업체 등에서 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 최근 광섬유를 전송장치로 하는 태양광 집광채광 시스템에 대한 기술개발이 활발히 진행 중이다.

국내에서는 1990년 동력자원부 주관으로 에너지절감 측면에서 자연채광에 관한 연구가 시작되었으며 2000 년대에 건축물의 디자인 및 성능향상 기술의 일환으로 아트리움 도입 및 설비형 자연채광에 관한 선진기술이 도입되었고, 국내에서도 고정식 제품군의 개발이 이뤄졌다.<sup>(7)</sup> 또한, 고정식 시스템의 한계를 극복한 향상된 효율과 현장적용성 및 시공성 향상을 위한 방안으로 렌즈, 반사거울-광케이블을 이용한 추적식 집광채광시스템 개발 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 추적식 집광거울-광섬유형 방식에 있어 집광부에 다수의 파라볼릭 반사거울을 조합한 집광채광시스템을 개발하고, 시스템효율, 평균실내조도 시험 등의 환경시험과 전도방출시험 등의 전자파적합성 시험을 자체 및 전문시험인증기관의 시험인증을 통해 시스템의 신뢰도를 검증하고, 향후 상용화 모델 개발에 활용하고자 한다.

## 2. 포물면 반사거울 방식 집광채광시스템

본 연구에서는 포물면 반사거울 방식을 적용한 집광부, 추적/구동제어부를 개발하고, SOF 광케이블과 다운라이트형 산광장치를 통합하여 시스템을 구성하였다.

### 2.1 반사경 형상에 따른 광학적 특성

반사경은 형상을 기준으로 오목반사경과 볼록반사경으로 나누며 곡률의 수에 따라 구면 반사경과 비구면 반사경으로 분류된다. 비구면 반사경은 평면과 구면 이외의 반사경을 총칭하는데 본 논문에서는 비구면 반사경 중 포물면 반사경을 선택하였다.

#### 2.1.1 구면 반사경(Spherical mirror)

구면 반사경은 Fig. 3에 보이는 것과 같이 중심점

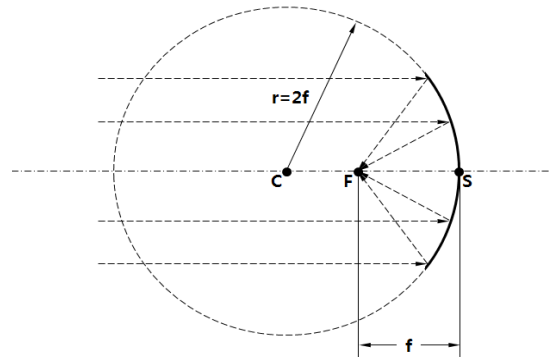


Fig. 3 Concept of the spherical mirror.

을 기준으로 동일한 거리상에 있는 반사경을 말한다. 이것은 반사경 특성상 색수차는 발생하지 않으나 반사경면에 의한 구면수차가 발생한다.

#### 2.1.2 포물면 반사경(Parabolic mirror)

포물면 반사경은 Fig. 4와 같이 구면 반사경과 달리 동일한 곡률이 아닌 각 지점의 곡률이 다르게 설계된 비구면 형태이다. 반사경은 포물면 반사경의 장점이 구면 반사경과 같은 반사라는 광학적 특성을 이용한 방식으로 색수차와 구면 반사경이 가지는 구면수차가 발생하지 않아 수차 없이 포물면의 초점에 모인다.

## 2.2 반사경 제작

1차, 2차 반사경의 직경과 그에 따른 최적 초점거리를 광학시뮬레이션을 통해 산출하고, 실 제작 후 3차원 형상측정기로 반사경의 형상 정밀도를 측정하였고 최대 오차범위가 0.034 mm로 정밀도가 높음을 확인하였다. 그에 따라 포물면 1차 반사경은 다수의 반사경을 적용하였을 때 손실공간과 전체적인 조립 크기를

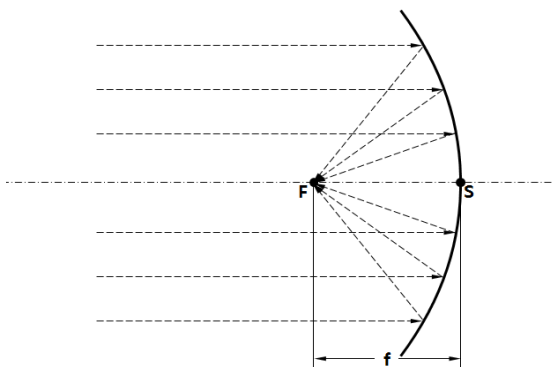


Fig. 4 Concept of the parabolic mirror.

줄이기 위해 Fig. 5와 같이  $\varnothing 320$ 의 둥근모서리를 갖는 사각형상으로 제작하였다.

### 2.3 구동부

구동기구부는 고도각, 방위각 추적이 가능한 2축 구동방식을 적용하여 각각  $0 \sim 80^\circ$ ,  $60 \sim 300^\circ$ 까지의 구동범위를 갖도록 하였다. 일반적인 개별 운동방식은 구조적 특성상 추적범위가  $120^\circ$ 정도로 태양일주 범위를 충족하지 못하므로 본 연구에서는 판 운동 방식을 적용하여 개발하였다.

또한, Fig. 6과 같이 태양이동궤적의 추적구동을 위한 태양광 추적컨트롤러를 개발하였고, 주요사양은 Table 1과 같다.

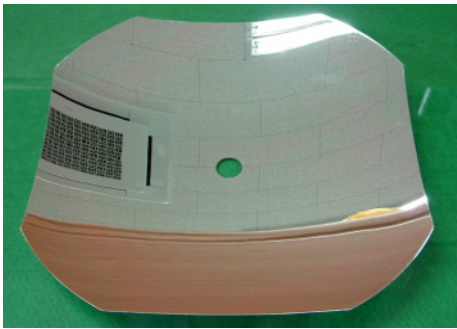


Fig. 5 Parabolic reflector.

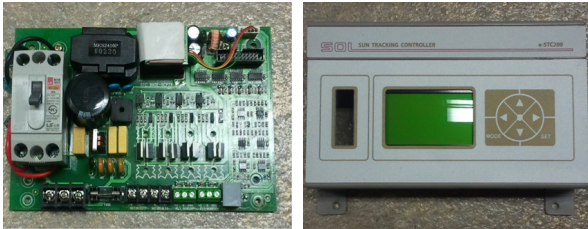


Fig. 6 Solar tracking controller.

Table 1 Specifications of controller

Control method	Sensor control and Calculation control	GPS receiver	State, weather, time
Control mode	Auto and Manual control	Tracking precision	under 0.1 deg.
Tracking range	Azimuth	over 230 deg.	Sunset motion Altitude : East Azimuth : South
	Altitude	over 80 deg.	Sensor sensitivity 99-level

이상과 같이 구동부는 2축 판 운동방식으로 제작했으며 집광부는 포물면 반사거울 4개를 조합하여 집광열이 분산될 수 있는 구조로 제작하였다. 1차, 2차 반사경의 보호를 위해 외부 커버를 제작, 적용하고 직접광을 수집하는 부분의 전면에는 PMMA(투과율 90% 이상)를 사용하여 투명도를 높였다. Fig. 7에는 개발된 시스템을, Table 2에는 개발 시스템의 주요사양을 보인다.



Fig. 7 Manufactured product.

Table 2 Specifications of product

Sort	Specifications	
Size	875×355×1007 mm(W×D×H)	
Collection area	0.28 m <sup>2</sup>	
1 <sup>st</sup> reflector	Size	280×280 mm( $\varnothing 320$ )
	Collection area	0.07 m <sup>2</sup>
	Focal length	160 mm
	Material	Ni(Rd, Al, SiO <sub>2</sub> coating)
2 <sup>nd</sup> reflector	Reflectivity	97~98%
	Width	1mm
	Size	$\varnothing 25 \times 4.47$ mm
	Radius of curvature	over 90%
Driven range	Material	Quartz(Al coating)
	Altitude	0~85°
Motor	Azimuth	60~300°(South : 180°)
	Type	DC Geared
Reducer	Power consumption	1.44W(24V, 0.06A), reduction gear ratio : 1/500
	Reduction gear ratio	1/50
Drive	Tracking method	Tracking sensor and Program
Total weight	within 30 kg	

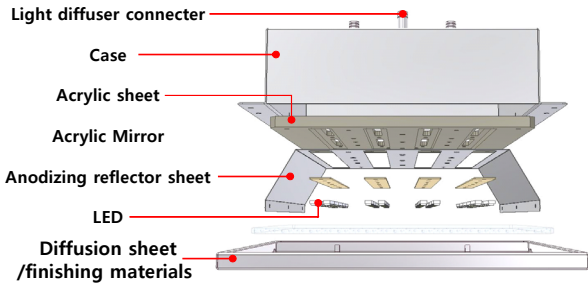


Fig. 8 Basic structure of light diffuser.

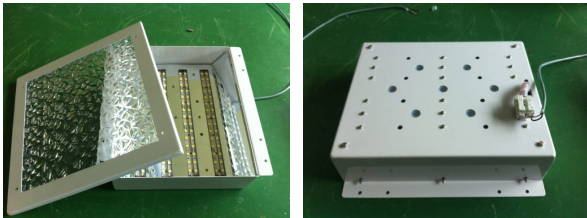


Fig. 9 Light diffuser of triangle type.

## 2.4 산광장치 제작

산광장치는 Fig. 8과 같이 집광부에서 광섬유를 통해 전송된 태양광을 실내에 유입, 확산시키는 일종의 조명장치로서, 실내 디자인 환경과 그 사용 목적에 따라 다양한 형태로 제작이 가능하며, 본 논문에서는 천정에 부착시킬 수 있는 사각 매립형 산광장치를 제작하여 시스템통합 및 평가에 활용하였다.

산광장치의 기본구조는 케이스와 커넥터 고정판, 내부의 빛 손실을 줄이기 위해 반사율 95% 이상의 반사판을 적용하였으며, 산광부 케이스의 매립 후 확산시트와 마감커버를 쉽게 탈 부착할 수 있는 구조로 제작하였으며, Fig. 9와 같다.

## 3. 측정 및 결과분석

### 3.1 측정조건 및 방법

성능평가를 위한 측정조건 및 시스템 제원은 Table 3과 같다.

성능평가를 위해 암실에 개발시스템을 설치하고, 청명일 하루 동안 1분 간격으로 데이터를 수집하여 「NR PV 601 : 2007, 신재생에너지 설비 심사세부기준-태양광집광채광기」에 준하여 시스템효율과 실내 평균조도 측정을 통해 성능평가를 수행하였다.<sup>(8)</sup>

#### 3.1.1 시스템 효율

시스템효율은 집광부의 광속 대비 산광부의 광속

Table 3 Measurement conditions of system

Measure condition	◦ Data : July 26~27, 2012
	◦ Measure period : 08 : 30~17 : 30(1 mim. unit)
	◦ Weather condition : sunny day, 25~33℃
	◦ Measure room : Dark room (reflectivity 5%)
	◦ Dark room size : 6,000×6,000×2,500 mm
	◦ Collection area : 0.28 m <sup>2</sup>
	◦ Diffused area : 0.36 m <sup>2</sup>
	◦ Transmission length : 20 m
◦ Triangle diffuser(4 ea)	

비로 평가한다. 광속의 경우 측정도와 집광면적 및 산광면적의 곱으로 식(1)과 같이 산출할 수 있으며, 시스템효율 측정개념은 Fig. 10과 같다.

$$\text{시스템효율(\%)} = \frac{\text{산광부 출사광속}(lm)}{\text{집광부 입사광속}(lm)} \times 100 \quad (1)$$

- 집광부 입사광속( $lm$ )  
= 집광장치 입사면적( $m^2$ )×입사 평균조도( $lx$ )
- 산광부 출사광속( $lm$ )  
= 산광기 면적( $m^2$ )×출사 평균조도( $lx$ )

산광부의 측정위치는 Fig. 11과 같이 균등분할로 산광기 1개당 4개씩의 조도센서를 균등배치하고 측

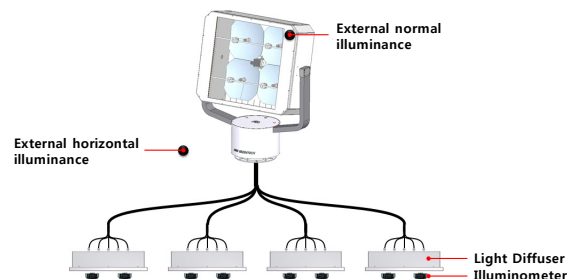


Fig. 10 Key map for system efficiency measurement.

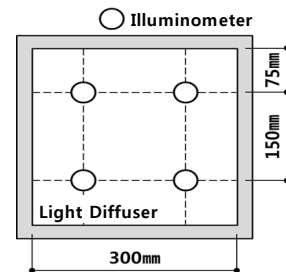


Fig. 11 Position of illumination measurement.

정하여 16점(4×4)의 평균조도로 산광부 광속을 구할 수 있다.

### 3.1.2 실내 평균조도(주광률) 평가

주광률 평가는 외부조도(lx) 대비 실내 작업면 높이에서의 조도 분포의 비로 측정하며 조도 측정 위치는 Fig. 12와 같이 바닥면 80±5 cm 높이에 16개의 조도센서를 균등배치하여 측정하며, Fig. 13과 같이 측정한다.

## 3.2 측정결과

### 3.2.1 시스템 효율

Table 4에는 시간대별 입사광속, 출사광속 및 시스템효율을 나타내었다. 데이터는 오전 08 : 30분부터 17 : 30까지의 외부 수평면 조도를 30분 간격으로 실측한 데이터로 83,400~126,600 lx로 측정되었으며, 평균 112,316 lx로 측정되었다.

식(1)에 의해 산출된 입사광속 및 출사광속은 Table 5와 같으며, 결과적으로 시스템의 평균효율은 22.41%임을 알 수 있다.

### 3.2.2 실내 평균조도

Table 5에는 시간대별 실내 평균조도를 나타내었다. 데이터는 30분 간격으로 실측했으며, 외부조도는 71,200~133,400 lx로 측정되었고 08 : 30~17 : 00까지의 외부 평균조도는 107,050 lx, 실내평균조도는 257 lx가 얻어졌다.

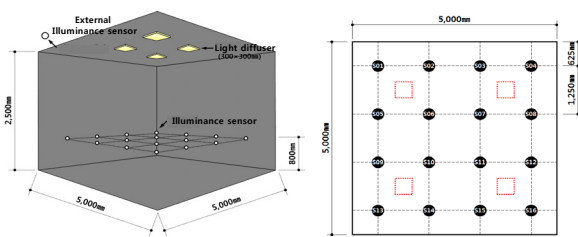


Fig. 12 Measurement positions of illumination.

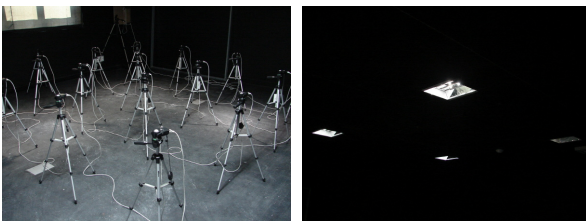


Fig. 13 Measurement of indoor average illumination.

Table 4 System efficiency

Measure Time	External normal illuminance (lx)	Parabolic daylighting system		
		Input luminous flux (lm)	Output luminous flux (lm)	System efficiency (%)
08 : 30	108,100	30,268	7,118	23.52%
09 : 00	111,300	31,164	7,404	23.76%
09 : 30	118,800	33,264	8,019	24.11%
10 : 00	115,500	32,340	7,954	24.59%
10 : 30	98,400	27,552	4,972	18.05%
11 : 00	122,700	34,356	8,769	25.52%
11 : 30	126,600	35,448	8,218	23.18%
12 : 00	90,100	25,228	2,664	10.56%
12 : 30	122,400	34,272	7,233	21.11%
13 : 00	123,000	34,440	7,439	21.60%
13 : 30	125,100	35,028	8,893	25.39%
14 : 00	119,200	33,376	8,452	25.32%
14 : 30	120,500	33,740	7,657	22.69%
15 : 00	117,900	33,012	8,476	25.68%
15 : 30	118,600	33,208	7,941	23.91%
16 : 00	111,500	31,220	6,892	22.08%
16 : 30	107,000	29,960	6,822	22.77%
17 : 00	93,900	26,292	5,670	21.56%
17 : 30	83,400	23,352	4,768	20.42%
Aver.	112,316	31,448	7,124	22.41%

Table 4에 10 : 30과 12 : 00의 시스템 효율이 다른 측정시간 대비 낮게 나타난 이유는 집광방식을 적용한 추적식 집광채광시스템의 특성상 직달광을 이용한 방식으로 위 측정시간에 태양이 구름에 가려져 직달광의 세기가 작아졌기 때문이다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 포물면 반사거울 방식을 적용한 추적방식의 집광채광시스템을 소개하고, 시스템효율 및 실내평균조도(주광률)를 측정하였다. 측정결과 개발 시스템의 시스템효율은 평균 22.41%, 실내평균조도는 257 lx로 측정되었으며 이는 참고문헌<sup>(8)</sup>의 기준을 만족하고 있음을 확인하였다.

차후 연구과제로는 집광부 전면의 실린더 적용에 따른 방식, 분진차단 구조보완, 모터 및 감속기의 backlash 저감에 따른 정밀도 확보, 광측정법식의 개선을 통해

Table 5 Average illumination

Sort	Indoor illuminance(lx)																External horizontal illuminance	External normal illuminance	Indoor average illuminance
	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16			
8 : 30	81	98	113	110	62	80	126	117	153	115	115	142	115	128	98	111	44,400	71,200	111
9 : 00	144	153	181	173	115	130	224	217	232	202	192	222	193	212	161	173	60,800	92,100	185
9 : 30	146	173	199	180	124	125	210	194	201	175	163	190	169	194	136	152	65,700	91,400	171
10 : 00	161	198	142	135	124	136	164	157	206	217	196	226	209	228	164	175	75,700	94,000	178
10 : 30	236	286	279	257	204	219	307	295	337	290	249	280	284	303	215	229	92,200	110,300	268
11 : 00	250	314	228	219	216	253	276	272	378	330	283	296	319	332	242	244	98,200	114,100	282
11 : 30	214	229	208	192	202	228	232	227	341	320	206	216	285	311	181	225	95,800	108,900	241
12 : 00	279	344	230	220	235	264	282	279	399	365	265	280	355	358	256	258	101,100	113,400	294
12 : 30	245	305	190	184	210	245	242	241	366	342	274	282	291	299	237	232	101,600	110,000	267
13 : 00	306	388	219	212	274	331	278	276	435	408	374	377	346	341	343	325	114,700	125,800	335
13 : 30	396	464	326	300	311	332	368	357	535	509	414	425	421	425	360	357	113,700	126,900	399
14 : 00	372	482	308	289	299	299	319	306	504	499	267	293	390	434	236	259	114,400	133,100	349
14 : 30	315	393	239	225	252	286	305	297	347	380	228	245	267	314	194	215	92,900	114,300	288
15 : 00	297	358	261	259	245	276	371	376	381	400	338	369	260	281	293	300	95,500	119,600	327
15 : 30	233	285	177	174	193	179	275	272	340	355	220	257	237	270	191	213	81,000	111,500	248
16 : 00	248	277	237	229	208	199	311	309	347	377	277	297	208	222	254	244	69,700	104,300	275
16 : 30	212	262	175	168	170	193	239	239	215	246	263	256	142	156	223	211	61,500	98,100	219
17 : 00	174	219	118	114	138	164	162	216	228	259	199	214	159	182	173	179	49,700	87,900	187
Aver.	239	290	213	202	199	219	261	258	330	322	251	270	258	277	220	228	84,922	107,050	257

집광효율이 향상된 집광채광시스템을 개발하고 개발 시스템의 전체 비용대비 성능 향상 정도를 포함한 사용자의 needs, 제작단가 절감 방안 등을 종합적으로 고려하여 경제성 확보를 통하여 시장진입 가능성을 높이고자 한다.

참고문헌

1. Park, H. K., 2010, Optical fiber type sunlighting technology, ceramist, pp. 44-62.
2. Sung, T. K., Lee, C. S., Lee, E. Y., Park, Y. M., Joung, C. B., and Kim, B. C., 2012, Performance Evaluation of An Azimuth Tracking Prismatic Daylighting System, Journal of the Korea Solar Energy Society, Vol. 32, No. 3, pp. 129-137.
3. Lee, S. C., Jeon, H., Park, H. K., and Kim, K. H., 2010, Information business for optical fiber type sun-lighting and technology, the Ministry of Education, Science and Technology.
4. Kim, Y. S. and Kwon, K. W., 2009, Skin load reduction technology of building, Korea Green Building Council, pp. 38-41.
5. Yoon, Y. J., 2009, Architecture and Daylighting System, Journal of the Korea Solar Energy Society, Vol. 8, No. 1, pp. 3-10.
6. Kim, S. H. and Kim, B. C., 2008, Solar Daylighting System, Journal of th Korean Society for Precision Engineering, Vol. 25, No. 10, pp. 33-40.
7. Kim, D. H., Yoon, K. H., Yoo, K. J., Jeong, J. W., Park, N. K., Ahn, H. K., Lee, E. J., Lee, K. J., Han, S. S., Shin, H. K., Yoo, K. S., and Han, Y. C., 2007, Solar-energy parts of New and Renewable energy RD&D Strategy 2030, the Ministry of Commerce, Industry and Energy.
8. Korea Energy Management Corporation, 2007, Renewable energy facilities assessment criteria-PV solar panel PV 601 : 2007.