

# 다중 파라볼릭 반사경 방식을 이용한 추적식 집광시스템 개발

이충식\*, 김종민\*, 박연민\*, 성태경\*, 정채봉\*\*, 강승훈\*\*\*, 김병철\*

\*(주)에이비엠그린텍(tksung@abmarch.co.kr), \*\*한국생산기술연구원(cbjoung@kitech.re.kr),  
\*\*\*한화건설(kace007@hanwha.co.kr)

## Development of Tracking Daylighting System Using Multi-Parabolic Reflector

Lee, Chung-Sik\*, Kim, Jong-Min, Park\*, Yeon-Min\*, Sung, Tae-Kyung\*, Joung, Che-Bong\*\*,  
Kang, Seung-Hoon\*\*\*, Kim, Byung-Chul\*

\*Research Institute of Technology, ABM GreenTech Co., Ltd.(tksung@abmarch.co.kr), \*\*Korean Institute  
of Industrial Technology Human Resource Support for SMEs Center, \*\*\*Research Institute of  
Technology, Hanhwa Engineering&Construction Co., Ltd.

### Abstract

Daylighting system is an alternative lighting system using daylight collecting device, light transformer and light diffuser. In this paper, we developed a daylighting system in which the collecting device composed by dual parabolic reflectors, the silica optical fiber adapted to the light transformer and light diffuser made of the polyglass square sheet. We have estimated the system efficiency and general color rendering index(Ra) of the developed system. The system efficiency measured to 23.8% and Ra was revealed as 95. Ra number of the developed system is bigger than the number(65) of the previous fresnel lens based sunlight collector.

Keywords : 파라볼릭 포물경(Parabolic reflector), 태양광 추적식 집광시스템(Solar daylighting system), 집광부(Light collector), 전송부(Light transformer), 산광부(Light diffuser), 연색성지수(Rendering index)

### 기 호 설 명

Ra : 평균연색성지수  
F : 반사경의 초점거리[mm]  
x : 반사경의 직경[mm]  
y : 반사경의 높이[mm]

### 1. 서 론

태양광 집광기술은 태양광의 유입이 불가능하거나 부족한 실내/외 공간에 다양한 하드웨어를 이용하여 태양광을 유입시키는 시스템으로 에너지 절약효과 외에 향상된 시환경을

Submit date : 2013. 1. 16, Judgment date : 2013. 1. 21, Publication decide date : 2013. 4. 25  
Communication author : Sung, Tae-Kyung(tksung@abmarch.co.kr)

제공한다<sup>1)2)</sup>.

태양광 집광시스템은 건축물의 소비에너지 총량 중 약 28%<sup>3)</sup>를 차지하는 조명에너지 절감을 위한 대안기술로, 기존에는 유리창이나 천창을 이용하여 태양광을 유입시키는 고정식이 주종을 이루고 있다. 최근에는 탑상(타워)형의 건축물이 늘어나면서 건축물 내부에 태양광 유입이 어렵게 되어 태양광의 적극적 도입과 응용기술 개발의 필요성이 증대되고 있다. 또한, 고정식 시스템의 광전송거리 한계 극복을 위하여 기존 덕트(파이프) 대신 광섬유를 이용하는 방식이 늘고 있는 추세이다. 광섬유는 장거리 전송이 가능하고 설치공간이 작아 건축물의 타 설비에 의한 간섭이 적어 적용성이 높다. 이러한 이유로 광섬유를 이용한 집광시스템 개발이 가속화되고 있다<sup>4)</sup>.

본 논문에서는 한 쌍의 파라볼릭 반사경을 적용한 집광부, SOF 광섬유와 매립형 사각 다운라이트 산광장치로 구성되는 추적식 집광시스템을 개발하고 이를 소개하고자 한다. 또한 시스템효율, 스펙트럼 및 연색성 측정을 통한 성능평가를 하고자 한다.

## 2. 집광시스템의 개요

건축분야에 적용되는 집광방식으로는 고정식으로 반사거울방식, 광덕트방식, 추적식으로 렌즈-광섬유 방식, 반사거울-광섬유 방식<sup>5)</sup> 등이 있으며, 크게 집광부, 광전송부 및

산광부의 3부분으로 구성되며 Fig. 1과 같다.

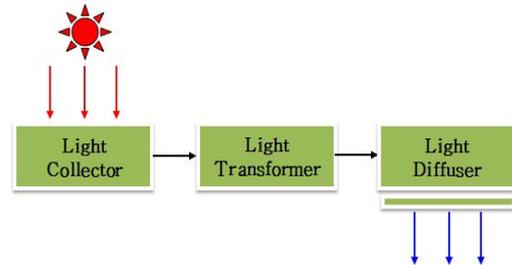


Fig. 1 Structure of daylighting system

집광부는 태양광을 집광하는 부분이며, 광전송부는 집광된 빛을 원하는 실내공간으로 전달하는 부분이며 산광부는 전송된 빛을 실내로 확산시켜 조명화 하는 부분이다.

집광부는 고정식과 태양일주운동을 추적하는 추적식으로 구분된다. 광전송부는 전송하는 형태와 매질에 따라서 반사필름이나 반사시트를 이용한 광덕트와 유리 및 플라스틱 소재의 광섬유, 공기를 전송부로 이용한 방식 등으로 나눌 수 있다. 또한 산광부는 기본적인 채광방식과 채광과 단순히 인공광원을 on/off 하는 하이브리드 방식, 채광과 실내의 균일한 조도를 유지하기 위한 인공광원의 밝기를 조절하는 하이브리드 디밍 방식 등이 있다<sup>3)</sup>.

## 3. 파라볼릭 반사경 방식 집광시스템

본 장에서는 금번 연구에서 개발한 다중 파라볼릭 반사경을 이용한 집광시스템의 주요 개발내용과 기술을 소개하고자 한다.

집광부는 태양광을 수집하는 대형 반사경(1차 반사경)과 집광된 빛을 반사시켜 광섬유로 입사시키는 반사경(2차 반사경)으로 구성된 2개의 집광관과 태양추적을 위한 추적제어부, 집광된 빛을 전송시키는 SOF 광섬유, 매립형 사각 다운트라이형 산광장치로 구성하여 제작하였으며, Fig. 2 및 Fig. 3과 같다.

- 1) Sung, T. K., et al, Performance Evaluation of An Azimuth Tracking Prismatic Daylighting System, Journal of the Korea Solar Energy Society, Vol. 32, No. 3, 2012, pp.129~137
- 2) Lee, E. J., et al, Concentrating Daylighting Duct System, Journal of the Korea Solar Energy Society, Vol. 7, 2008, pp.14~19.
- 3) Kim, Y. S., Kwon, K. W., Skin load reduction technology of building, Korea Green Building Council, 2009, pp.38~41.
- 4) Lee, C. S, et al., The Development of Solar Tracking Concave Mirror Type Daylighting System, The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineeris of Korea, summer Conference, 12-S-209, 2012
- 5) Yoon, Y. J., Architecture and Daylighting System, Journal of the Korea Solar Energy Society, Vol. 8, No. 1, 2009, pp.3~10.

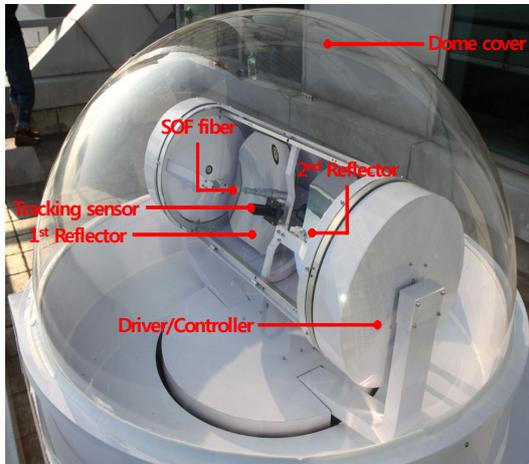


Fig. 2 Proposed daylighting system

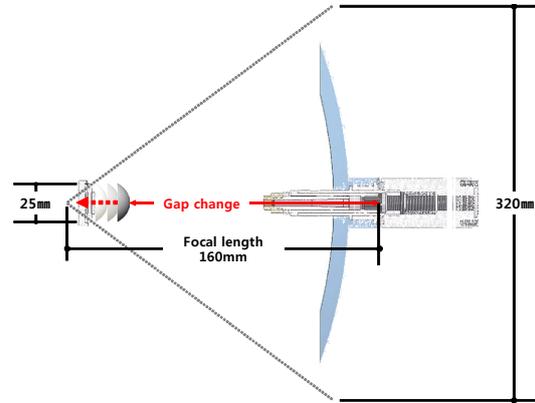


Fig. 4 Key map of simulation



(a) 1<sup>st</sup> reflector (b) 2<sup>nd</sup> reflector

Fig. 3 Concave mirror and Convex mirror

Table. 1 Detail conditions of simulation

Sort	Simulation condition	Note
1 <sup>st</sup> Reflector	- Size : $\varnothing 320$ - Focal length(mm) : 128, 130, 140, 150, 160 - Reflectance 95%, Absorption 5%	Nikel Coated
2 <sup>nd</sup> Reflector	- Size : $\varnothing 25$ - Radius of curvature(mm) : 15.5, 31.01, 51.68, 104.60, 209.20 - Reflectance 95%, Absorption 5%	Al Coated
Source	- Size : $\varnothing 320$ - from source to 1 <sup>st</sup> reflector(collimated light inflow)	-
Receiver	- Size : $\varnothing 4.35$ (Optical fiber, 7 core)	-

### 3.1 집광부

#### (1) 파라볼릭 반사경 제작

$\varnothing 320$  1차 반사경의 초점거리 변경에 따른 효율 변동 판단을 위해 초점거리를 변경하며 광학시뮬레이션(LightTools 7.2)을 통해 최적의 초점거리를 산출하였다.

일반적으로 초점거리가 길어지면 광섬유로 입사되는 수광각이 작아져 광을 다루는데 효율적이다. 하지만 초점거리가 길어지면 구조상 돌출이 많이되어 집광부 구성에 어려움이 따르는 단점이 있다. 이러한 이유로 초점거리는 반사경의 반지름으로 한정하여 결정하였으며, 시뮬레이션 개념은 Fig. 4와 같다. Table 1에는 시뮬레이션 세부조건을, Fig. 5에는 시뮬레이션 결과를 보인다.

1차 반사경 초점거리 및 2차 반사경 곡률 결정 시뮬레이션 결과, 2차 반사경의 종류에 따른 1차 반사경의 초점거리가 160mm, 2차 반사경의 곡률반경 31.01mm 일 때 1, 2차 반사경을 통해 광케이블로 유입되는 초점범위가 넓었으며 원활한 초점작업이 가능한 것으로 판단되었다.

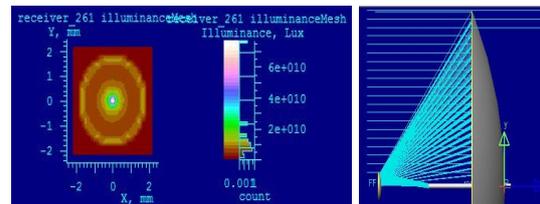


Fig. 5 Simulation result (FL: 160mm, Ray Trend)

광학시뮬레이션 결과를 근거로 실 제작 후 3차원 형상측정기로 반사경의 곡률오차를 측정하였고 최대 오차범위가 0.034mm로 높은 정밀도를 가짐을 확인하였다. 이에 따라 파라볼릭 1차 반사경은 Fig. 3 (a)와 같이 여러 개의 반사경 적용이 용이하고 손실공간이 작은  $\varnothing 320$ 의 둥근모서리를 갖는 사각형상으로 전기주조 도금방식으로 제작하였다.

Fig. 6은 파라볼릭 반사경 기본특성에 따른 좌표 값을 보이고 있으며, 파라볼릭 반사경은 공식에 의하여 초점거리(f)와 반사경의 높이(x)에 의해 직경이 결정되며 식(1)과 같은 공식으로 설계 가능하다.

$$y^2 = 4 \times F \times x \quad (1)$$

여기서, y는 반사경의 직경, F는 초점거리, 그리고 x는 반사경의 높이이다.

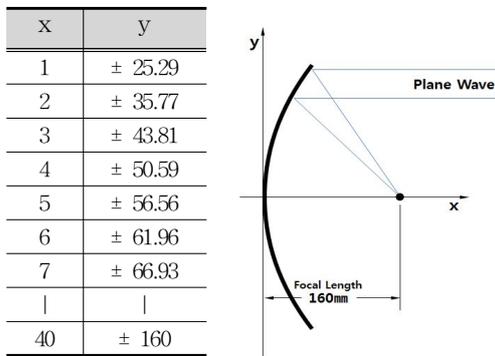


Fig. 6 Coordinate value by basic characteristics

제작된 1차 반사경은 표면 이물질 제거 및 세척 시 증착이 벗겨지는 문제점 보완을 위해 반사경 표면에 SiO<sub>2</sub> 코팅처리를 통해 취급이 용이하도록 하였다.

(2) 구동기구부 제작

운동기구부는 제어시스템으로부터 신호를 받아 방위각과 고도각 구동을 통해 태양과 범

선방향을 유지시키는 역할을 하며 고도각 0~80°, 방위각 60~300°의 구동범위를 갖는다. 개발된 구동기구부의 주요사양은 Table 2와 같으며, Fig. 7은 2축 구동부의 개념을, Fig. 8은 실 제작품을 보여주고 있다.

Table. 2 Specification of drive device

Sort	Specifications
Size	983×355×605mm (W×D×H)
Weight	about 25kg
Drive range	Altitude: 0~80°, Azimuth: 60~300°
Reducer	80×97×58mm, reduction gear ratio: 1/50
Motor	1.44W(24V, 0.06A), Reduction gear ratio: 1/500
Power consumption	within 10Wh/day (standby: 1W)
Material	Steel, Aluminium
Tracking method	Tracking sensor & memory method

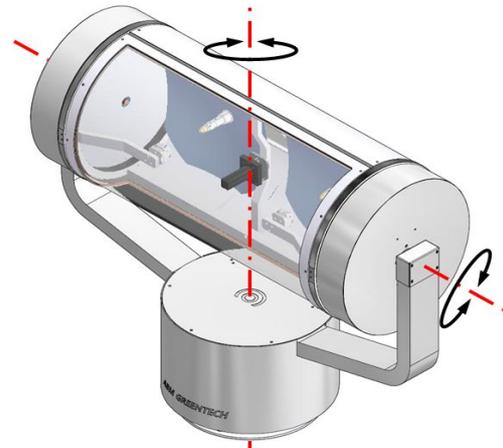


Fig. 7 Key map of 2-shaft drive device



Fig. 8 Drive device

### 3.2 광전송부

광섬유는 실리카 소재로 된 코어와 저굴절 레진 소재의 클래드 및 버퍼로 구성된 SOF (Silica Optical Fiber) 7가닥을 1개의 번들로 구성하여 각각의 파라볼릭 반사경 집광장치에 적용하였으며 입사부 광섬유 끝단의 클래드와 버퍼를 제거하여 광전송시 손실면적(공극)을 줄일 수 있도록 하였으며 Fig. 9에는 개념을, Fig. 10에는 실제 적용된 형태를 보인다. SOF는 POF (Plastic Optical Fiber) 보다 전송률과 내열성이 우수하여 안정성을 확보하기 위해 선정하였다.

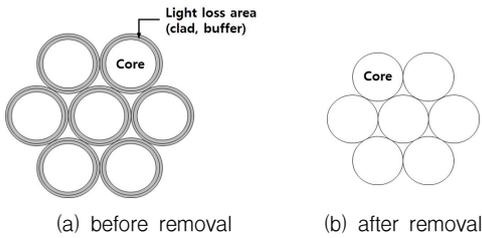


Fig. 9 Loss parts by clad & buffer

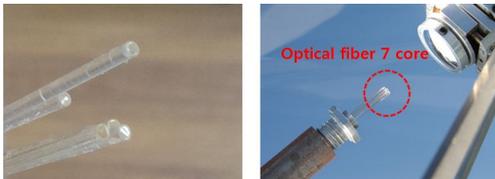


Fig. 10 Applied SOF

### 3.3 산광부

직접 조명 방식(Down lighting) 산광장치는 광섬유가 가지는 광원의 직진성 및 배광각의 특성을 토대로 광섬유 및 보조조명인 LED 광원이 실내를 직접 조명할 수 있는 방식으로 설계, 제작되었다. 산광장치의 기본 구성은 산광장치를 천정에 매입할 수 있는 산광장치 기구부와 광섬유를 고정하는 커넥터, LED 인공광원을 결합할 수 있는 커넥터 고정판, 광원의 내부 반사효과를 위한 상부·측

면 반사시트, 광섬유의 배광각 및 확산성을 고려한 확산 시트로 구성하였다(Fig. 11).

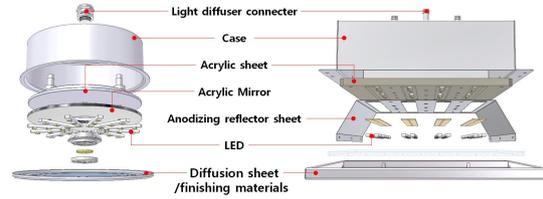


Fig. 11 LED hybrid down lighting diffuser



Fig. 12 Manufactured light diffuser

## 4. 성능평가 및 결과 분석

### 4.1 측정조건 및 방법

본 장에서는 집광부, 광전송부 및 산광부를 통합한 집광시스템의 성능평가를 수행한다. 성능평가를 위한 측정조건 및 시스템 제원은 Table 3과 같으며 시스템효율, 스펙트럼 분석 및 연색성을 평가하였다.

시스템효율은 집광시스템의 태양광 전송률을 나타내는 것으로 효율이 높을수록 작은 집광면적에도 많은 광량을 전송할 수 있음을 의미한다.

스펙트럼과 연색성은 시각도에 영향을 미치므로 집광시스템을 실내에 적용하기 위해서는 태양 빛의 특성을 그대로 유입시키는 것이 중요하고 집광시스템을 통해 실내로 유입되는 빛과 태양 빛의 비교를 위해 연색성과 산광부의 스펙트럼을 측정하여 그 특성을 분석하였다.

성능평가를 위해 Fig. 15와 같이 암실동에 개발시스템을 설치하고, 1분 간격으로 데이터를 수집하여 분석하였다.

Table. 3 Measurement conditions

Sort	Tracking type daylighting system
Measure condition	- Data: August 3~21, 2012 - Period: 09:00~17:30 (30min. unit) - Weather condition: sunny day, 22.5℃ ~ 32.4℃ - Measure environment: darkroom (reflectivity 5%) - Test room size: 6,000×6,000×2,500mm
	- Collection area: 0.14m <sup>2</sup> - Diffused area: 0.18m <sup>2</sup> - Transmission length: 20m (∅1.8 SOF)

(1) 시스템효율

시스템효율 측정방법은 집광채광설비의 세부심사기준<sup>6)</sup>에 의거하여 식(2)와 같이 집광부의 광속 대비 산광부의 광속 비로 평가한다. 광속의 경우 측정도와 집광면적 및 산광면적의 곱으로 산출할 수 있다<sup>7)</sup>. Fig. 13에는 시스템효율 측정의 개념도를 보인다.

$$\text{시스템효율(\%)} = \frac{\text{산광부 출사광속}(lm)}{\text{집광부 입사광속}(lm)} \times 100 \quad (2)$$

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

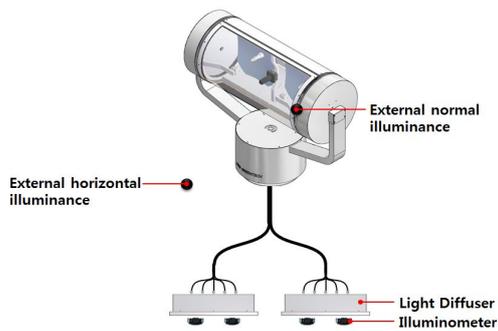


Fig. 13 Key map for system efficiency measurement

측정실의 내부는 반사율 5% 이하의 암실로 크기는 6,000(W)×6,000(D)×2,500(H)mm 이다. 측정일은 2012년 8월 10일이며 측정시간은 08:00~16:30으로 1분 간격으로 측정하여 데이터를 정리하였다. 외부조도는 집광시스템이 태양광과 법선면을 이룰 수 있도록 설치하여 측정을 진행하였다.

산광부의 측정위치는 Fig. 14와 같이 균등분할하여 조도센서를 배치하여 측정하며 5점의 평균조도로 산광부 광속을 산출한다.

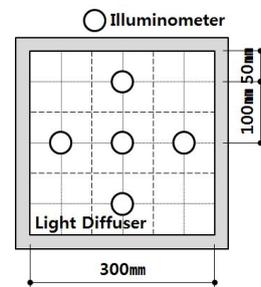


Fig. 14 Light emitter illumination measurement point

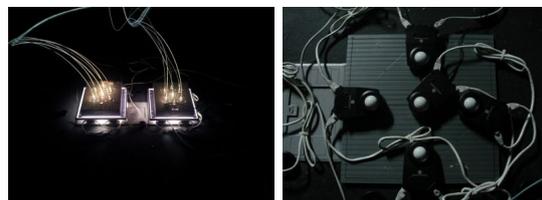


Fig. 15 Measure point and method

(2) 스펙트럼 분석 및 연색성

스펙트럼 분석 및 연색성 평가는 스펙트럼과 연색성의 동시 측정이 가능한 MCS-601 계측장비를 이용하여 2012년 8월 30일에 측정하였다. 측정은 Fig. 16과 같은 방법으로 산광부 방향으로 측정 장비의 수광부를 붙여 렌즈-광섬유형 집광시스템과 제안된 집광시스템의 스펙트럼 및 연색성을 비교 평가하였다.

스펙트럼 분석은 같은 시간대에 태양광과 집광시스템 산광부의 스펙트럼을 측정하고 연색성은 연색 평가수에 의해 비교하였다.

6) Korea Energy Management Corporation, Renewable energy facilities assessment criteria - PV solar panel PV 601 : 2007.  
 7) Heo, S. K., et al, Development on Requirement Specification for Performance Assesment of Daylight Collecting System, Ministry of Commerce, Industry and Energy, 2006.

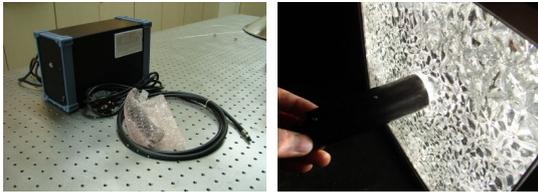


Fig. 16 Spectrum meter and measure

## 4.2 측정 결과

### (1) 시스템효율 측정

성능평가 측정데이터는 Table 4에 시간대별 입사광속, 출사광속 및 시스템효율을 나타내었다. 데이터는 오전 09:00시부터 17:30까지의 외부 수평면 조도를 30분 간격으로 실측한 데이터로 67,000~127,000lx으로 측정되었으며, 평균 106,000lx로 측정되었다.

Table 4의 결과를 이용하여 식(2)에 의해 시스템효율을 산출한 결과, 시스템 평균효율은 23.77%로 측정되었으며, 이 때의 평균 입사광속 및 출사광속은 각각 14,840lm와 3,582lm 이었다.

Table 4 System efficiency (August 11, 2012)

Time	External normal illuminance [lx]	Collection area [m <sup>2</sup> ]	Input luminous flux [lm]	Output luminous flux [lm]	System efficiency [%]
08:00	79,500	0.14	11,130	2,362	21.22
08:30	103,200	0.14	14,448	3,843	26.60
09:00	107,600	0.14	15,064	4,501	29.88
09:30	109,600	0.14	15,344	4,421	28.81
10:00	115,800	0.14	16,212	4,144	25.56
10:30	112,900	0.14	15,806	4,377	27.69
11:00	114,500	0.14	16,030	3,539	22.08
11:30	119,600	0.14	16,744	4,266	25.48
12:00	127,000	0.14	17,780	4,265	23.99
12:30	121,100	0.14	16,954	4,623	27.27
13:00	116,700	0.14	16,338	4,422	27.07
13:30	113,200	0.14	15,848	4,658	29.39
14:00	113,500	0.14	15,890	3,603	22.67
14:30	111,200	0.14	15,568	3,904	25.08
15:00	111,400	0.14	15,596	2,756	17.67
15:30	95,100	0.14	13,314	2,103	15.79
16:00	85,900	0.14	12,026	2,113	17.57
16:30	89,200	0.14	12,488	2,458	19.68
17:00	67,000	0.14	9,380	1,703	18.16
<b>Aver.</b>	<b>106,000</b>	<b>0.14</b>	<b>14,840</b>	<b>3,582</b>	<b>23.77</b>

### (2) 스펙트럼 분석 및 연색성 측정

Fig. 17에는 스펙트럼 분석기를 통해 측정된 데이터를 그래프로 나타낸 것이다. 제안된 집광시스템은 태양광 스펙트럼과 빛의 세기 차이는 있지만 유사한 패턴을 나타내었다. 반면 렌즈-광섬유형 집광시스템은 다른 패턴을 보임을 알 수 있다.

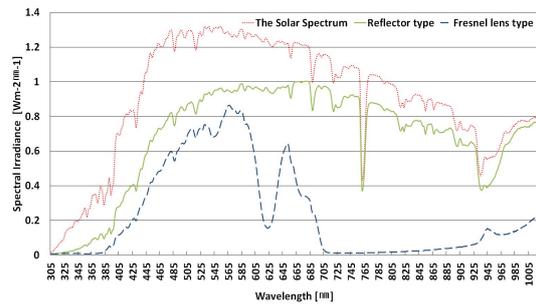


Fig. 17 Spectrum analysis results

연색성(Ra) 측정 결과 연색 평가수는 제안된 집광시스템이 95, 렌즈-광섬유형 집광시스템이 65의 수치를 보여 제안된 시스템이 30만큼 높은 결과를 얻었으며 이는 제안 시스템을 통해 전송된 광이 태양광과 더욱 유사함을 의미한다.

## 5. 결론

본 논문에서는 한 쌍의 파라볼릭 반사경과 중앙에 추적센서가 배치된 구조를 적용하고 실린더 타입으로 외부 마감한 집광부와 SOF 광섬유를 광전송부로 하여 개발된 추적식 집광시스템을 소개하고, 성능평가 결과를 제시하였다. 개발된 추적식 집광시스템의 평균 시스템효율 23.77%로 「NR PV 601:2007, 신재생에너지 설비 심사세부기준 - 태양광집광채광기」 기준을 만족함을 확인하였다.

또한, 스펙트럼 및 연색성 측정 결과 제안된 반사경 집광시스템을 통해 실내 유입되는 빛이 태양 빛과 유사도가 높음을 확인하였다.

이상과 같이 제안된 추적식 집광시스템은 건축물 옥상에 설치되는 기존의 추적식 시스템과는 달리 옥상은 물론 측벽에 부착이 가능한 형태로 제작이 되었으며, 광전송부도 POF 대신 SOF 광섬유를 적용하여 개발된 최초의 시도라는 점에서 의의가 있다.

차후 연구과제로는 1)연색성을 보전하며 시스템효율 향상 방안연구, 2)집광부 전면 커버 적용에 따른 방수처리, 3)모터 및 감속기의 backlash 저감, 4)광축정렬 방식의 개선을 통해 전체적인 제품의 성능향상 및 구조적 안정성을 확보할 수 있도록 하고자 한다.

## 후 기

본 연구는 한화건설 기술연구소와의 공동 개발과제로 수행되었음.

## Reference

1. Sung, T. K., et al, Performance Evaluation of An Azimuth Tracking Prismatic Daylighting System, Journal of the Korea Solar Energy Society, Vol. 32, No. 3, 2012, pp.129~137.
2. Lee, E. J., et al, Concentrating Daylighting Duct System, Journal of the Korea Solar Energy Society, Vol. 7, 2008, pp.14~19.
3. Kim, Y. S., Kwon, K. W., Skin load reduction technology of building, Korea Green Building Council, 2009, pp.38~41.
4. Lee, S. C., et al, The Development of Solar Tracking Concave Mirror Type Daylighting System, The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineeris of Korea, summer Conference, 2012, 12-S-209.
5. Yoon, Y. J., Architecture and Daylighting System, Journal of the Korea Solar Energy Society, Vol. 8, No. 1, 2009, pp. 3~10.
6. Korea Energy Management Corporation, Renewable energy facilities assessment criteria - PV solar panel PV 601 : 2007.
7. Heo, S. K., et al, Development on Requirement Specification for Performance Assesment of Daylight Collecting System, Ministry of Commerce, Industry and Energy, 2006.