

태양추적식 자연채광 장치의 집광기 종류에 따른 성능 분석: 포물 반사경 vs. 프레넬 렌즈

김영민* · 김원식* · 정해준* · 천원기**

*제주대학교 에너지공학과

Performance Analysis on Solar Tracking Daylighting Systems Using Different Types of Solar Collectors: Parabolic Dish vs. Fresnel Lens

Kim Yeongmin* · Kim Won-Sik* · Jeong Hae-Jun* · Chun Wongee**

*Department of Nuclear and Energy Engineering, Jeju National University

†Corresponding author: wgchun@jejunu.ac.kr

Abstract

This paper presents the effect of solar collectors on the performance of solar tracking daylighting systems. A series of measurements were made for two different types of solar collectors mounted on double axis solar trackers: Parabolic dish concentrator and Fresnel Lens. Indoor light levels were measured at different locations of an office space (longitude: 126.33 E, latitude 33.45 N) as photo sensors were placed on a task plane 80 cm above the floor. To accurately monitor the applicability of the systems, measurements were performed under clear and overcast sky conditions with the roll-screen (on the south window) in the down position. Comparing the illuminance data, the system with Fresnel lens outperformed that of parabolic dish concentrator. On clear days, the former delivered the light levels of 400~600 lux on the task plane whereas the latter recorded 100~200 lux. Depending on the amount of cloud cover, on overcast days, illuminance readings fluctuated to some extent.

Keywords: (태양추적장치)Solar Tracking System, (포물 반사경, 프레넬 렌즈)Parabolic dish, Fresnel lens, (집광기)Concentrator, (실내 조명)Interior lighting

1. 서론

전 세계적으로 도시화가 진행됨에 따라 많은 인구가 도시로 이주하게 되고 이에 따른 문제점들이 발생되고 있다. 특히 한정된 토지에 많은 인구가 밀집됨에 따라 주거지가 부족하게 되고 많은 인구를 수용할 수 있는 고층 아파트들이 촘촘히 건설되고 있는 상황에서 생활 여건과 밀접한 관계가 있는 일조권에 대한 문제점이 대두되고 있다^{1,2,3)}. 또한 건물의 에너지 측면을 고려했을 때, 건물 내의 인공조명이 건물 에너지소비에 주된 요소이기 때문에 자연채광에 대한 논쟁이 지속적으로 야기되고 있다. 생활 여건 향상과 에너지 절약을 위하여 정부와 개인 건물 소유주 등은 건물의



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.37, No.1, pp.39-45, February 2017
<https://doi.org/10.7836/kjes.2017.37.1.039>

pISSN: 1598-6411

eISSN: 2508-3562

Received: 28 November 2016

Revised: 03 February 2017

Accepted: 22 February 2016

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

안전한 한계 내에서 건물의 리모델링을 실시하고 있다⁴⁾. 이러한 건물에 첨단 기술 요소를 통합하여 태양 에너지를 보다 적극적으로 광범위하게 활용할 수 있다면 일조권 분쟁에 대한 문제점 및 실내조명으로 사용되는 많은 에너지를 절약할 수 있을 것으로 기대된다^{5,6)}.

본 논문은 남향에 위치한 테스트 룸에서 태양추적 장치를 활용하여 태양광을 실내조명으로 활용할 수 있는 가능성을 제시한다. 태양추적 장치의 집광기는 두 가지 유형으로 테스트 하였으며 신뢰성 있는 작동을 위해 본 연구실에서 제작된 동일한 2축 태양추적 장치에 각각 장착되었다.

2. 시스템 구성 및 실험방법

2.1 태양추적 장치

본 연구에서 활용한 태양추적 장치는 AVR 마이크로 컨트롤러 기반으로 보다 정확한 태양추적을 위하여 천문학적 추적방식과 광학적 추적방식을 상황에 맞게 선택하여 이용한다. 천문학적 추적방식은 태양추적 장치가 설치된 경도와 위도, 일출, 일몰 등의 수치를 계산하여 실시간으로 추적하는 방식이다⁷⁾. 광학적 추적방식은 CdS센서를 이용한 방법으로 CdS센서는 태양광에 대응하여 내부 저항이 변화하는 일종의 광 가변 저항기이다. CdS센서는 태양광이 전혀 조사되지 않을 경우 거의 절연체에 가깝게 되며, 조사되는 빛이 증가함에 따라 저항이 증가하는 원리를 이용하였다. Fig. 1은 CdS의 구성도와 CdS센서를 보여준다.

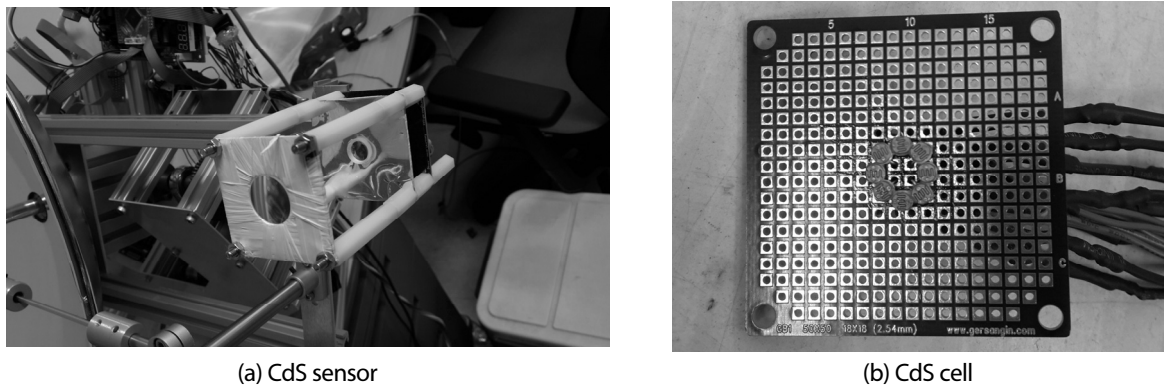


Fig. 1 Optical elements used for feedback control

그림에서 확인할 수 있듯이 CdS셀은 총 8개이며 상하좌우와 각각의 대각선 방향에 설치되어있다. CdS센서는 태양추적 장치와 수직으로 연결되었으며 CdS 센서 1차 렌즈에 의해 집광된 태양광이 2차 렌즈를 통해 CdS cell이 설치된 기관 중앙부분으로 입사한다. 입사된 태양광과 CdS cell의 상호 작용을 통하여 태양과 태양추적 장치가 일직선이 되도록 제어된다.

2.2 Parabolic dish형 집광기

본 연구에서는 두 가지 유형의 태양 집광기를 사용하였다. 하나는 Parabolic dish형 집광기이며 다른 하나는 Fresnel lens형 집광기이다. Fig. 2는 태양광을 집광하기 위한 Parabolic dish형 집광기의 구성도와 원리를 보여준다.

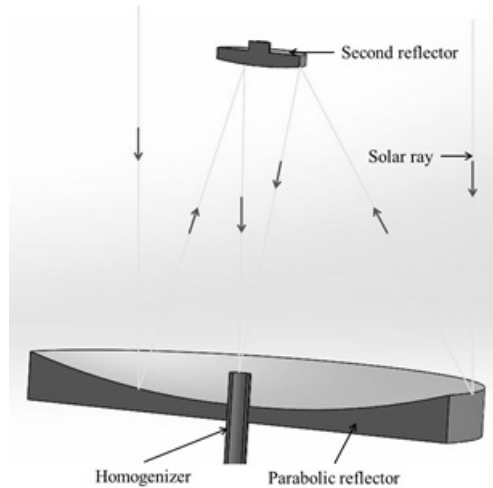


Fig. 2 Concentration of sunlight using a dish concentrator

Parabolic dish형 집광기에 입사하는 태양광은 Parabolic reflector에 의해 반사되어 Second reflector에 집광된다. Second reflector는 집광된 태양광을 다시 Homogenizer로 반사하며 Homogenizer 끝에 설치된 광섬유 케이블을 통해 실내로 입사하게 된다.

Parabolic reflector의 직경은 30.48 cm이며 정중앙 부분에 Homogenizer 설치를 위하여 직경 1.905 cm의 구멍이 있다. Second reflector의 직경은 3.8 cm이며 Parabolic reflector과의 거리(초점거리)는 7.62 cm이다. Homogenizer의 길이는 8 cm이며 내경은 1.6 cm이다. Parabolic dish형 집광기에 사용되는 모든 구성요소는 알루미늄을 가공하여 제작되었다. 또한 태양광이 반사되는 Parabolic reflector와 second reflector의 표면에는 알루미늄 분말로 코팅 후 부드럽게 처리하였으며 반사율은 약 90%이다.

2.3 Fresnel lens형 집광기

Fresnel Lens는 작고 좁은 원형의 돌기들로 이루어진 형태로 기존 볼록렌즈나 오목렌즈에 비하여 무게, 두께, 가격 등을 개선한 플라스틱 판 형태의 렌즈이다. 각각의 돌기들은 일정한 비율에 의해 조금씩 다른 각도로 설계되어 빛을 한 개의 초점으로 모아줄 수 있다. 프레넬 렌즈는 구면수차를 줄일 수 있어 일반 볼록렌즈와 달리 상이 흐트러지는 것을 막을 수 있다. 재질은 PMMA이며 가시광선에 대한 투과율은 약 93%이다. Fig. 3은 Fresnel lens형 집광기의 구성도와 원리를 보여준다.

Fresnel lens의 집광면적은 30.48 cm로 Parabolic dish형과 동일하다. 두께는 5 mm이며 Homogenizer와의 거리(초점거리)는 0.35 m이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 Second reflector는 필요하지 않다. Fresnel lens형 집광기에 입사하는 태양광은 Fresnel lens에 의해 Homogenizer에 집광되어지며 광섬유 케이블을 통해 실내로 입사하게 된다.

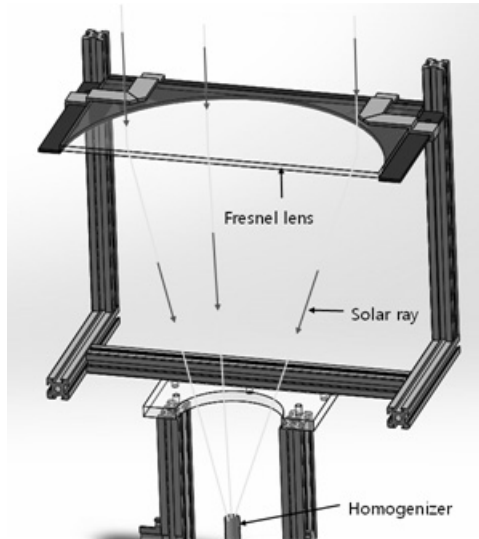


Fig. 3 Concentration of sunlight using a Fresnel lens

3. 실험방법 및 결과

3.1 실험방법

본 연구에서는 제주대학교 공과대학 4호관 신재생에너지실험실(경도:126.33 E, 위도 33.45 N 남향)에 테스트 룸을 제작하여 실험을 실시하였다. Fig. 4는 테스트 룸 남쪽 발코니에 설치된 태양추적 장치를 보여주고 있으며 집광부에 Parabolic dish형 집광기와 Fresnel lens형 집광기가 각각 설치되어있다.

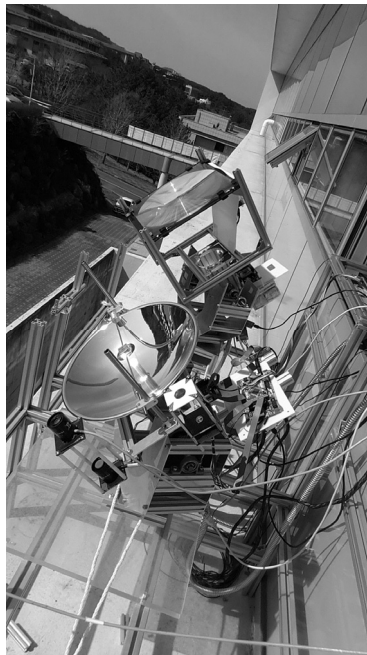


Fig. 4 Systems installed on the south balcony

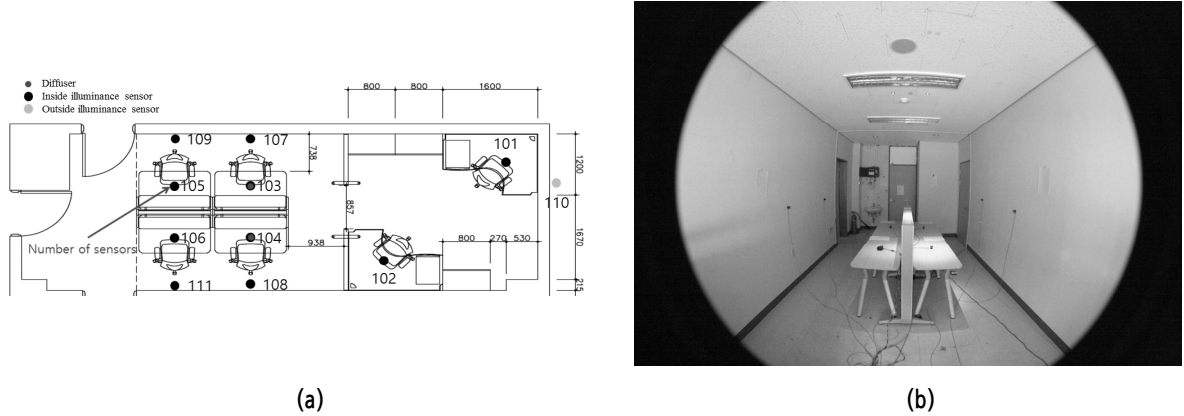


Fig. 5 Plan view (a) and actual photo (b) of the office space monitored. (#101, 102... 110 indicate locations of photo sensors)

두 시스템 모두 광섬유 케이블(길이 10 m)을 사용하여 집광 된 태양광을 테스트 룸의 북쪽 끝으로 전송한다. 광섬유 케이블의 한쪽은 태양추적시스템과 연결되어있으며 다른 한쪽 끝은 테스트 룸 천장부분에서 센서가 설치 된 책상부분으로 태양광을 발산할 수 있게 설치되어있다. Fig. 5(a)는 테스트 룸 내부의 조도센서 배치도를 보여주고 있으며 5(b)는 실제 테스트 룸의 내부를 보여준다. 테스트 룸은 실제 사무실과 유사하게 배치하였다. 외부조도에 따른 집광기의 성능을 실험하기 위해 테스트 룸 외부에 조도센서(110)를 설치하였으며 태양추적시스템에 의한 실내 조도를 측정하기 위하여 KS조도 측정 기준인 바닥면에서 80 cm 거리의 책상 면에 4개(103~106)의 센서를 설치하였다. 실험은 실내조명 적용성 분석을 위해 블라인드를 내린 상태에서 청천공 상태일 때와 담천공 상태일 때의 조도를 측정하였다.

3.2 실험 결과

Fig. 6은 청천공일 때 시간에 따른 센서 별 조도분포를 보여준다. 외부조도는 약 15,000 lux ~ 140,000 lux이며 오후 12:45분경 최고치를 보여준다. 그래프에서 보는바와 같이 광섬유 케이블에 의해 태양광이 발산하는 부분 바로 아래에서 측정 된 조도(103, 104)값은 예상대로 다른 부분에서 측정 된 조도 값보다 높은 수치를 나타낸다. 그러나 외부조도의 변화에 비해 실내 조도(103, 104) 값은 꾸준한 수치를 보여주고 있는데 이것은 외부조도가 일정 수준에 도달했을 때 집광기에 의해 태양광이 집광되기 때문으로 사료된다. 두 집광기 모두 오전 11:15경에 조도 값이 최고치를 보여주고 있다. Fresnel lens형 집광기를 설치한 태양추적 장치의 조도 값은 약 655 lux이며 Parabolic dish형 집광기를 설치한 태양추적 장치의 조도 값은 약 225 lux로 Fresnel lens형 집광기가 Parabolic dish형 집광기보다 월등히 높은 수치를 보여준다. 이것은 Parabolic dish형 집광기에서 사용되는 Parabolic reflector와 Second reflector에서의 반사에 의한 손실과 태양과 집광기와의 각도에 의한 손실로 사료된다. Parabolic reflector형 집광기의 경우 반사를 이용한 집광이기 때문에 태양과 집광기의 각도가 미세하게 틀어질 경우 집광효율이 매우 떨어지게 된다. 또한 측정된 조도 값이 불안정하게 보이는 것은 태양의 이동과 태양추적 장치의 추적 동작 사이의 약간의 시간 지연으로 인한 것으로 사료된다.

Fig. 7은 담천공 상태일 때 센서에 의해 측정 된 조도 값을 나타낸다. 그래프에서 확인할 수 있듯이 태양의 유무에 따라

외부조도(약 13,000 lux~170,000 lux) 및 실내조도(약 40 lux ~ 800 lux) 값이 크게 변동됨을 알 수 있다. 그러나 실외조도(110)의 변동 패턴과 실내조도의 변동 패턴간의 강한 유사성을 확인 할 수 있다. 실내 조도의 값은 맑은 날과 동일하게 Fresnel lens형 집광기가 높게 측정 되었다.

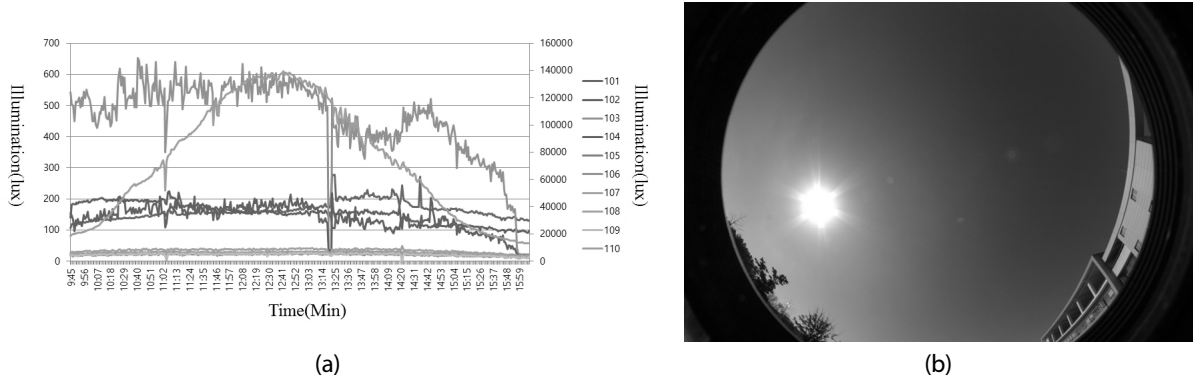


Fig. 6 Light levels (illuminance) at different locations as time elapses on a sunny day: (a) sensors (b) fisheye photo of sky

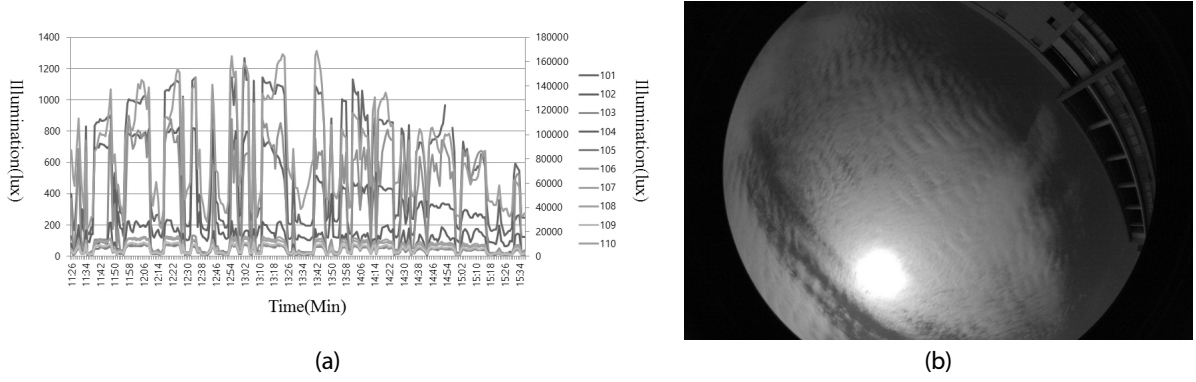


Fig. 7 Light levels (illuminance) at different locations as time elapses on a cloudy day: (a) sensors (b) fisheye photo of sky

4. 결론

본 연구에서는 두 가지 유형의 집광기를 태양추적 장치에 설치하여 태양광 집광효율을 비교 분석하였으며 실내조명으로 활용 할 수 있는 가능성에 대하여 분석하였다. 청천공일 때의 경우 Fresnel lens형 집광기의 조도 값은 약 400~600 lux 이며 Parabolic dish형 집광기의 조도 값은 약 100~200 lux로 측정되었으며 담천공일 때의 경우 구름의 유무에 따라 실내 조도의 편차가 매우 심하게 측정되었다. Fresnel lens형 집광기의 경우 구조적으로 작동이 간편하기 때문에 Parabolic dish형 집광기보다 우수한 성능을 보여준 것으로 사료된다. Fresnel lens형 집광기의 경우 청천공 상태 일 때 기준으로 일반 사무실 KS 조도 기준에 충분히 만족하는 결과를 보였다. 청천공 일 때 Parabolic dish형 집광기와 담천공 일 때 Fresnel lens의 경우 인공조명과 병행하여 사용한다면 실내조명으로 활용 가능할 것으로 사료된다.

후기

본 연구는 한국과학재단 기초연구사업(과제번호: 2014R1A2A01006421)의 연구비 지원으로 수행되었음.

REFERENCES

1. Han, H. J. and Kim, J. T., Design and Preliminary Performance Test of A Daylighting Device with Mini-dishes, Proceedings of SET 2006, Vicenza, Italy, 2006.
2. Olgyay, V. W. and Egan, M. D., Architectural Lighting, NY: McGraw-Hill, 2002.
3. Augustesen, C., Brandi, U., Dietrich, U., Friederici, A., Geissmar-Brandi, C., and Kristensen, P. T., Lighting Design, Birkhauser, 2006.
4. KIER, A Report on the Analysis and Planning of Energy & Resource Technologies (www.kier.re.kr), 2005.
5. Han, H. H., Jeon, Y. I., Lim, S. H., Kim, W. W., and Chen, K., New Developments in Illumination, Heating and Cooling Technologies for Energy-efficient Buildings, Energy, Vol. 35, pp. 2647-2653, 2010.
6. Kim, J. T., Chung, Y. G., Hwang, M. K., Kang, Y. H., and Lim, S. H., A Development of Solar Mirror Sunlighting Systems, J Architect Inst Korea, Vol. 18, No. 6, pp. 109-116, 2002.
7. Oh, S. J., Lee, Y. J., Kim, N., Hyun, J. H., Lim, S. H., and Chun, W., Development of an AVR MCU-based Solar Tracker, Journal of Energy Engineering, Vol. 20, No. 4, pp. 353-357, 2011.