

자연채광용 Mini-dish 클러스터의 기본설계 및 시제품 제작에 관한 연구

The Preliminary Design and Fabrication of a Daylighting Device with Mini-dish Cluster

한 현 주*

김 정 태**

Han, Hyunjoo

Kim, Jeong-Tai

Abstract

This work has carried out some preliminary studies for the utilization of a solar mini-dish system capable of concentrating solar rays to higher densities. A typical mini-dish system considered employs an array of solar mini-dishes where major components are light and compact. It consists of small mini-dishes, optical fiber bundles and diffusers at the end. Each mini-dish (typically has a 20 to 30 cm in diameter) is designed with a simple parabolic profile, concentrating sunlight (after the glass glazing cover to avoid dust deposition on the reflector and facilitate cleaning) onto a centrally-located small mirror which is placed on the bottom side of the transparent glass cover. The focused sunlight is reflected by the mirror surface onto a focal point where the receiving aperture of a homogenizer is located. Optical fibers are used to carry high-density solar rays to the other end where diffusers are mounted for indoor illumination. The proposed high density mini-dish system could make an efficient daylighting system as it excludes large moving parts and expandable if necessary. Each component of the system could be made from the off-the-shelf technology and thus, make the generic unit inexpensive to manufacture. Depending on spatial demand or characteristics, the amount of introducing daylight could be controlled. Preliminary tests have been carried out for a trial system to check any functional problems when in operation. Suggestions are also made to improve the design enhancing its performance and applicability.

Keywords : Mini-dish, daylighting, experimental

1. 서 론

최근 문화적 수준의 향상과 함께 웰빙에 대한 사회적 관심이 증가함에 따라 건물 설계 시에 환경 친화 기술을 도입하고자 하는 계획과 노력이 그 어느 때보다 활발히 전개되고 있다. 자연채광을 건물에 도입하는 것은 에너지의 효율적인 활용뿐만 아니라 정신·생리적 건강에 도움이 되고 보다 쾌적한 시 환경을 조성하는데 필수적이고 기본적인 요소이다.

그러나 자연광의 유입이 어려운 지하공간이나 도심의 밀집된 사무 공간 등에는 기존에 개발된 자연채광시스템들을 적용하기에 문제점을 지니고 있다. 특히, 사무자동화기기를 사용하는 대부분의 사무 공간 등은 낮 동안의

자연채광을 창면만으로 받아들여서는 충분한 조도값과 주광조도의 균제성을 해결하는데 어려운 점이 많다. 또한, 기존에 연구된 태양 집광기는 중·대형으로 단위 구성 요소의 부피가 크고 무거워서 자연광을 그대로 혹은 집광한 형태로 이용하기에는 기능적으로 여러 가지 제한점이 있다. 그러나 mini-dish시스템은 mini-dish cluster를 이용하여 각 주요 부분이 소형화·경량화 되어 있으므로 시스템의 확장성과 제작이 용이하고, 공간의 특성 및 형태에 따라 자연광의 조절이 가능하다.

따라서 본 연구는 자연광이 필요한 실내공간에 태양광을 고밀도로 집적할 수 있는 mini-dish system을 개발하여 기본적인 성능실험을 함으로써, 건축물에서의 적용가능성을 고찰하는데 있다.

* 주저자, 경희대학교 건축공학과 박사과정
** 교신저자, 경희대학교(산학협력기술연구원) 교수
(jtkim@khu.ac.kr)

2. 설계 및 제작

2.1 설계 개념

자연채광시스템의 건축물 적용에 관한 최근의 연구에 의하면 채광시스템의 유용성은 효율 뿐만 아니라 시스템 구성 요소의 모듈화를 통한 시스템 이용의 편의성 제고와 이를 통한 생산성 향상, 그리고 경제성 개선 등이 상당히 중요한 영향인자로 인식되고 있다. 이것은 태양광의 집광장치, 전송장치 및 단말장치 등 자연채광장치 주요 구성 요소의 저가화와 효율성의 극대화가 기술적 실용성의 당면한 과제임을 말해주고 있다. 만약, 규격(off-the-shelf)된 부품이나 기술의 적용을 통하여 기존의 자연채광장치 못지않은 장치를 구현할 수 있다면, 이는 태양에너지 이용의 효율성 측면에서 뿐만 아니라 현재 실용화된 설비형 혹은 자연형 개념의 자연채광 시스템(그림 1 참조)과 견주어도 상당한 경쟁력을 갖춘 시스템이 될 것이다.



(a) 히마와리시스템(일본) (b) 반사거울형채광장치(한국)

그림 1. 실용화된 자연채광장치



그림 2. 대형 반사거울을 이용한 태양광 집적 시스템 (UNLV의 에너지 연구소가 2001년에 건설)

본 연구에서 고안한 자연채광시스템은 기존의 수십 cm 혹은 수 m에 달하는 태양광 집광 장치(그림 1) 대신에 직경 15cm~25cm의 mini-dish(소형 반사거울)를 다수 이

용하여 태양광을 모아 자연채광을 하도록 하는 것으로서 이는 다음과 같은 장점이 있다:

첫째로 바람이 세게 부는 기상조건하에서도 그 부피가 작기 때문에 비교적 작은 항력(drag)이 발생하여 구조적으로 안전성에 큰 문제가 없으며, 가볍고 저렴한 소재의 설치지대들을 이용하여 건물의 지붕 등에 비교적 쉽게 설치할 수 있다.

둘째로 Mini-dish 시스템의 분산형 개념은 태양에너지의 활용에 있어 소형 반사거울을 다수 이용하므로 대형 반사거울을 적용한 일부 태양에너지 시스템과 달리, 기존의 저비용 제작 공정을 도입하여 시스템의 대량 생산을 이룰 수 있으므로 태양에너지의 이용에 있어 상당한 경쟁력을 가질 수가 있다. 예를 들면 mini-dish의 본체는 압출이나 성형 등의 과정을 거쳐 쉽게 제작이 가능하며, 매끈한 표면도 시판되고 있는 silver-reflectors를 이용할 수 있다. 이와 같은 제작 공정의 단순화는 대형 반사거울의 경우와 비교하여 대량 생산을 통한 가격 경쟁력의 확보에 유리하므로 자연채광장치 보급의 활성화에 적지 않은 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

셋째로 시스템의 주요 구성 요소의 표준화 및 규격화를 통해 대량생산에 따른 시스템의 생산성을 제고하고, 아울러 이용의 편의성을 극대화 시킬 수 있을 것이다.

본 논문은 위에서도 언급되었지만 mini-dish를 이용한 자연채광 장치의 각 구성 요소 설계에 있어 대량 생산 기술의 원활한 적용을 기본으로 하고 있다. 이는 오늘날 태양에너지 시장에 존재하는 높은 가격 장벽을 낮출 수 있는 매우 현실적인 방법이면서 동시에 태양에너지 이용의 활성화를 자연적으로 유도할 수 있는 매우 실질적인 방법이기도 하기 때문이다.

2.2 Mini-dish의 설계

Mini-dish의 곡면은 2차원 포물선을 360도 회전시킬 때 얻어지는 형태를 가지고 있는데, 거울에 입사되는 태양광이 초점을 향해 모아주는 집광 역할을 한다.

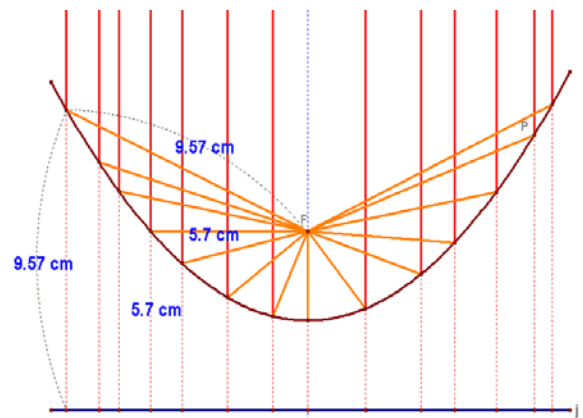


그림 3. 포물선의 원리

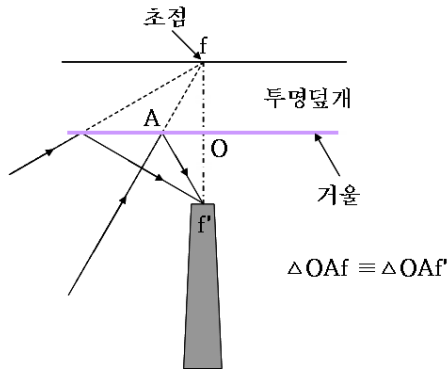


그림 6. 빛의 이동 경로



(b) 완성품

그림 7. 개발된 Mini-dish 시스템

2.3 제작

본 연구에서 mini-dish는 알루미늄 블록을 CNC 밀링머신을 이용하여 가공하는 방식으로 제작하였다. 제작된 mini-dish는 지름이 25cm 그리고 mini-dish 표면 중심으로부터의 수직 초점거리는 16.25cm이다. 한편, mini-dish의 중심부에는 지름 2cm의 나사 구멍을 뚫어 homogenizer와 mini-dish의 결합이 용이하도록 고려하였는데, homogenizer는 mini-dish를 관통하여 길이 5m의 광화이버 케이블과 연결된다. Homogenizer는 침탑형상으로 위쪽 개구부의 안지름은 3mm, 그리고 아래쪽 광화이버 케이블과 접촉되는 부분의 안지름은 10mm이며 스테인레스스틸(sus)을 이용하여 제작되었다.

Homogenizer의 내부는 태양광의 흡수를 최소화하여 광케이블로 전송되는 태양광의 양을 극대화시켜야 한다. Mini-dish위로 씌우는 투명한 덮개는 아크릴 파이프를 가공하여 만들었으며 그 외경은 260mm, 높이는 186mm로서 상부 둥근면의 내측에는 15mm의 거울이 그 중심 부분에 설치되어 있다.

본 연구에서는 투명 덮개를 사용하여 mini-dish 반사거울 전체의 관찰을 용이하게 하였는데, 덮개의 원주면은 상부의 둥근면을 지지하는 역할만을 수행하므로 굳이 투명한 재질로 할 필요는 없으며 강도만 있다면 다양한 재질을 적용할 수 있다. 그림 7은 mini-dish 시스템의 주요 구성 요소(a)와 조립 후 완성품(b)을 보여주고 있다.



(a) 주요 구성 요소

3. 문제점 및 해결 방안

그림 8은 mini-dish 시스템을 이용하여 외부의 태양광을 모아 실내로 전송한 예를 보여주고 있다. Mini-dish는 태양을 향하도록 하였으며 육안으로 관찰하여 태양광이 투명 덮개에 설치한 거울에 도달하도록 수동으로 조절하였다. 향후, 이 부분은 Sun Tracker에의 장착을 통하여 일조시간 내에 전자동으로 태양을 추적하여 태양광을 모을 수 있도록 할 수 있을 것이며 이에 대한 연구가 현재 진행 중이다.

거울은 아크릴 거울과 유리 거울의 두 경우를 시험해보았는데 아크릴 거울의 경우 열을 많이 흡수하여 몇 번의 시험 만에 그 일부가 녹아버리는 현상을 초래하였다. 아크릴 거울은 유리 거울보다 그 가공성이 뛰어나기는 하지만 열에 약해(반사 코팅이 거울과 마찬가지로 후면에 처리되어 있음) 고밀도의 태양광을 반사시키기에는 부적합한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 전술했듯이 mini-dish 내부의 관찰을 용이하게 하기 위하여 아크릴로 제작한 투명 덮개를 사용하였는데 덮개 내부의 공기가 태양광에 의하여 가열되는 경향이 있어 내부의 열을 외부로 빨리 발산하기 위해서는 궁극적으로 알루미늄과 같은 금속재료로 대체하여야 할 것이다. 물론, 직달광은 대부분 mini-dish와 평면 반사거울(혹은 오목 거울), homogenizer 그리고 optical fiber를 거치는 경로를 따라 대부분 실내로 전달되지만, 산란광은 mini-dish 표면이나 투명 덮개 그리고 내부의 공기에 흡수되어 장시간 태양광에 노출될 경우 가열로 인한 문제가 야기될 소지가 있다.

그림 8에서 밝게 보이는 부분은 광케이블을 거쳐 단말부를 통과한 태양광을 보여주고 있는데 기대했던 것보다 그 밝기가 어두운 편이었다. 이는 homogenizer를 거치면서 손실이 많이 발생할 것을 의미하는데 이를 보완하기 위하여 homogenizer의 내면을 현재보다 더 반사율(reflectivity)이 양호하도록 다시 가공해야 할 필요성이 있는 것으로 판단된다. 본 연구에서는 이를 위하여 현재 다양한 재질을 이용한 homogenizer의 제작과 성능 평가를 실시 중에 있다.



그림 8. 단말 장치로부터 조사되는 태양광

아울러 homogenizer를 생략하고 homogenizer 형상으로 그 높이까지 guide를 덧댄 광화이버를 설치하는 것(그림 8)을 생각해 볼 수도 있으나,¹⁾ 이 경우에도 평면거울에 의해 반사된 태양광이 광화이버의 작은 입구에 정확히 도달할 수 있도록 세심한 배려가 필요하다. 또한, 반사거울로부터 태양광이 큰 손실없이 광화이버 내부로 진입할 수 있도록 상단을 투명하게 잘 처리하여야 한다.

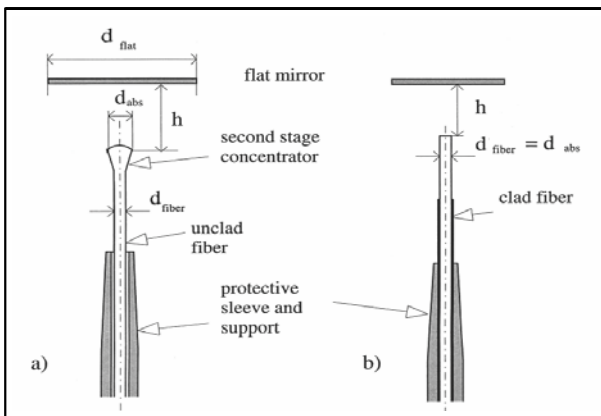
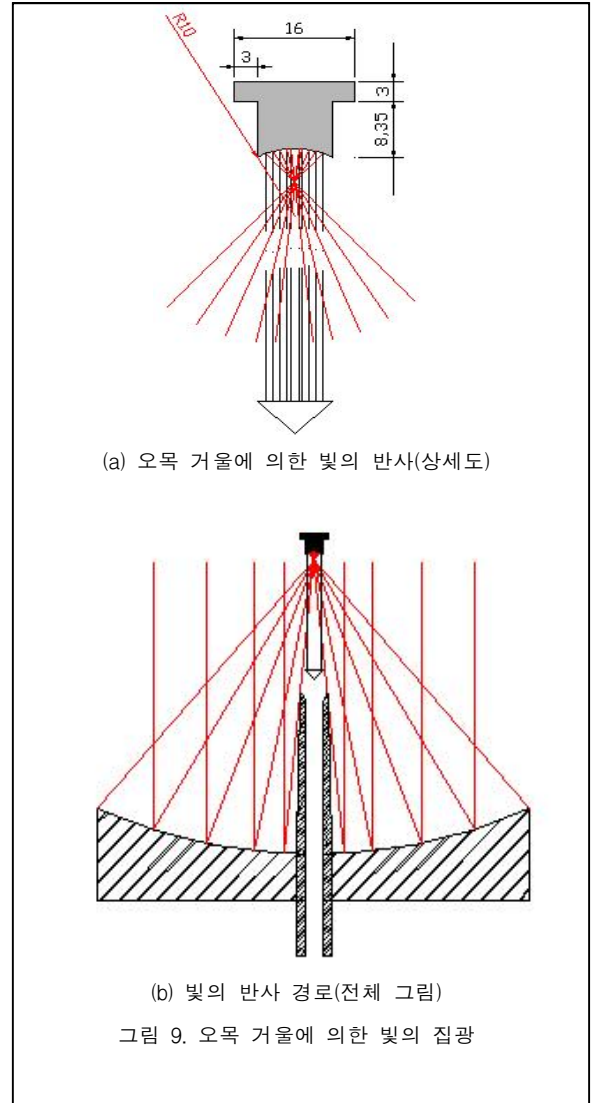


그림 8. 광화이버로 반사광을 직접 진입시키는 경우

또, 지금까지의 방법과 달리 평면 반사거울 대신에 오목형 반사거울을 이용하여 mini-dish를 통과한 빛이 평행한 광선을 이루어 homogenizer를 향하게 하거나 광화이버로 직접 진입하는 것을 고려해 볼 수도 있다(그림 9). 오목 반사거울의 표면은 mini-dish로부터 반사된 빛이 초점을 지나 일정한 반지름을 가질 때 형성되는 면으로서 mini-dish의 최외곽으로부터²⁾ 반사되는 태양광까지 반사시킬 수 있도록 설계하여야 한다. 이 방식은 homogenizer의 높이를 획기적으로 낮출 수 있어 빛을 더 효율적으로 모을 수 있을 뿐만 아니라 시스템의 실제 제작에도 다양성을 제공한다.



(a) 오목 거울에 의한 빛의 반사(상세도)

(b) 빛의 반사 경로(전체 그림)

그림 9. 오목 거울에 의한 빛의 집광

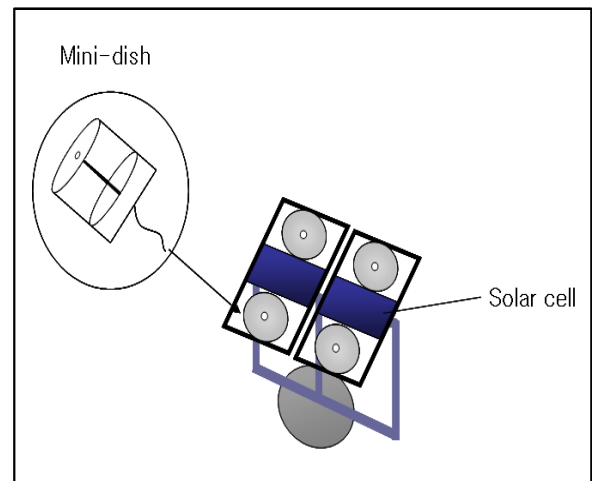


그림 10. 시제작을 위한 시스템 개념도

그림 10은 mini-dish 4 세트와 sun tracker를 장착한 시제품의 설계 개념도를 보여주고 있는데, 이 시스템은 현재 시제작중에 있는 것으로서 sun tracker의 지시에 따라 2개의 스텝핑 모터(steping motor)가 구동하면서 태양을 향하

1) Feuermann, D. and Gordon, M. G., "Solar fiber-optic mini-dishes: A new approach to the efficient collection of sunlight", Solar Energy, Vol. 65, No. 3, UK, 1999, pp 159-170.

도록 설계되었다. 한편, 모터의 구동에 필요한 동력은 2개의 태양전지 패널로부터 공급받아 외부 전원의 도움없이 전자동으로 동작할 수 있도록 설계되어 태양에너지를 이용하여 모든 것을 해결할 수 있도록 설계된 것을 그 특징으로 하고 있다.

만약, 고효율 태양전지(Multi-junction Solar Cell)를 homogenizer의 하단에 설치하여 태양광 발전을 피한다면 기존의 평면형 태양광 전지 모듈을 대체할 수 있으며 명실상부하게 mini-dish 시스템만을 적용한 태양광 발전 및 자연채광 시스템을 구축하게 되는 것이다. Multi-junction Solar Cell은 기존의 평면형 태양전지보다 그 발전 효율이 2~3배 정도 우수한 것으로 알려져 있으며, 태양전지 설치 면적을 줄일 수 있어 mini-dish 시스템과 연계 적용하면 보다 효율적인 태양에너지 시스템을 설계할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결 론

본 연구에서 고려한 mini-dish 시스템은 자연채광을 효율적으로 이룰 수 있는 장치로서 소형 경량의 특징을 갖춰 태양에너지의 이용에 편의성을 제고할 것으로 기대되며, 아울러 기존의 규격화된 부품과 기술을 적용하여 제작할 수 있는 형태로 설계되어 태양에너지 이용에 있어 보다 경쟁력을 갖출 수 있을 것으로 사료된다. 특히, 모듈라 개념을 적용하여 하나의 Sun Tracker에 연결된 다수의 mini-dish 시스템을 동작 제어하는 형태로 전체 시스템을 구성함으로써 시스템 운전의 안정성과 효율성을 극대화 시킬 수 있는 장점이 있다.

후 기

이 연구는 한국과학재단의 목적기초 연구사업(R01-2006-000-10712-0)의 일환으로 수행되었다.

참고문헌

1. 한 현주 외, "Mini-dish를 이용한 자연채광장치의 설계 및 제작에 관한 연구", 한국생태건축학회추계학술대회논문집, Vol. 6, No. 2, 2006.11
2. Han, H and Kim J., "Design and preliminary performance test of a daylighting device with mini-dishes", Proceedings of the 5th International Conference on Sustainable Technologies, Vicenza, Italy, September, 2006, pp. 225-228.
3. Kim, J., "Design of a differentiated daylight-redirecting system and its projected performance evaluation," Proceedings of the 2nd International Symposium on Advanced Daylighting and Artificial Lighting Systems in Architecture, Korea, May 2006.
4. Wong, N. and Agustinus, D., "Effect of external shading devices on daylighting penetration in residential buildings", Lighting Research and Technology, Vol 36, No. 4, 2004, pp. 317-333.
5. Robbins, C., Daylighting: Design and Analysis. Van Nostrand Reinhold, USA, 1986, pp 63-86.
6. IEA, Daylight in Buildings, USA, 2000.
7. Rosemann, A. and Kasse, H., "Lightpipe applications for daylighting systems", Solar Energy. Vol. 8. No. 6. UK, 2005, pp 772-780.
8. Kollmann, N. and Schulz, C., Lighting Design: Principles, Implementation, Case Studies. Birkhauser, Germany, 2006, pp. 6-35.
9. Thomas, R. and Fordham, M., Taylor & Francis, USA, 2005 pp 96-109.
10. Feuermann, D. and Gordon, M. G., "Solar fiber-optic mini-dishes : A new approach to the efficient collection of sunlight", Solar Energy, Vol. 65, No. 3, UK, 1999, pp 159-170.